

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Použití a vlastnosti vybraných terpolymerů
Use and characteristics of selected terpolymers

Petr Zikmund
KSP – TP – B75

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Konzultant diplomové práce: Ing. Jakub Zeman

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	68
Počet tabulek	6
Počet příloh	0
Počet obrázků	37

Datum: 28. 05. 2010



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Petr Z I K M U N D
Studijní program	B2341 Strojírenství
Studijní obor	3911R018 Materiály a technologie
Zaměření	Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Použití a vlastnosti vybraných terpolymerů

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Popis výroby a odlišné vlastností od homopolymerů.
2. Rozbor vlastností vybraných terpolymerů.
3. Vhodné aplikace pro vybrané terpolymery.
4. Hodnocení přínosu práce a závěr.

Forma zpracování bakalářské práce:

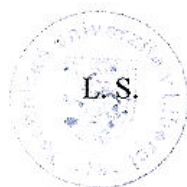
- průvodní zpráva: cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky

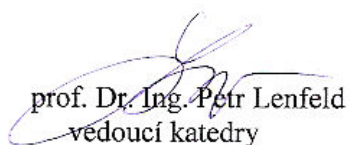
Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):


- [1] Materiálové listy a firemní literatura
- [2] Články v odborných časopisech
- [3] Elektronické zdroje informací

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Zeman




prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry


doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 15. 3. 2010

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Student: Petr Zikmund
Téma práce: Použití a vlastnosti vybraných terpolymerů
Use and characteristics of selected terpolymers

Číslo BP: KSP – TP – B75
Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jakub Zeman

Abstrakt:

Cílem této práce je popsat vlastnosti některých terpolymerů, které jsou díky svým dobrým vlastnostem velmi používány. Dále jsou zpracovány příklady použití těchto materiálů v praxi. Největší část se zabývá ABS, protože se jedná o nejpoužívanější terpolymer.

Klíčová slova: terpolymery, ABS, ABS+PA, ABS+PC, MBS, ASA, EPDM, FFKM

Abstract:

The aim of this work is to describe attributes of some terpolymers, which are owing to their great characters very used. Further are processing examples of usage these materials in the work experience. The biggest part of this elaboration occupies with ABS materials, because it negotiates about the terpolymer most in use.

Keywords: terpolymers, ABS, ABS+PA, ABS+PC, MBS, ASA, EPDM, FFKM

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2010

.....

Petr Zikmund
Bukovno 81
29301 Mladá Boleslav

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za cenné rady a náměty při zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval staniční sestře LDN Mladá Boleslav Renatě Ulmanové za poskytnutí zdravotnického vybavení k pořízení fotografií (obr. 26). V neposlední řadě děkuji členům své rodiny za podporu a také za zapůjčení předmětů k fotografování do této práce (obr. 9, obr. 10, obr. 19 a obr. 20).

Obsah

ÚVOD	10
1. PLASTY	11
1.1 Obecně	11
1.2 Polyreakce	11
2. TERPOLYMERY	12
2.1 Definice terpolymeru	12
2.2 Vybrané terpolymery zpracované v této práci	12
3. AKRYLONITRIL – BUTADIEN – STYREN, ABS	13
3.1 Základní charakteristika	13
3.2 Historie	14
3.3 Technologie výroby	14
3.4 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti	16
3.5 Mechanické vlastnosti	18
3.6 Elektrické vlastnosti	21
3.7 Tepelné vlastnosti	22
3.8 Chemické vlastnosti	22
3.9 Atmosférické stárnutí	22
3.10 Cena	23
3.11 Vybrané obchodní názvy a výrobci	24
3.12 Použití ABS v praxi	24
3.13 Shrnutí	26
4. SMĚSI ABS S JINÝMI POLYMERY, TZV. BLEND	28
4.1 Akrylonitril – butadien – styren + polyamid, ABS + PA	28
4.2 Akrylonitril – butadien – styren + polykarbonát, ABS + PC	34
5. METHYLMETHAKRYLÁT – BUTADIEN – STYREN, MBS	38
5.1 Základní charakteristika	38
5.2 Technologie výroby	38
5.3 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti	38
5.4 Mechanické vlastnosti	40
5.5 Tepelné vlastnosti	41
5.6 Chemické vlastnosti	41
5.7 Optické vlastnosti	41

5.8 Vybrané obchodní názvy a výrobci	42
5.9 Použití MBS v praxi	42
5.10 Shrnutí	43
6. AKRYLONITRIL – STYREN – AKRYLÁT, ASA	46
6.1 Základní charakteristika	46
6.2 Historie	46
6.3 Technologie výroby	47
6.4 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti	47
6.5 Mechanické a tepelné vlastnosti	48
6.6 Chemická odolnost	48
6.7 Vybrané obchodní názvy a výrobci	49
6.8 Použití ASA v praxi	49
6.9 Shrnutí	51
7. AKRYLONITRIL – ETYLEN – STYREN, AES	54
7.1 Základní charakteristika	54
7.2 Vybrané obchodní názvy a výrobci	54
7.3 Použití AES v praxi	54
7.4 Shrnutí	55
8. STRUČNÝ POPIS DALŠÍCH TERPOLYMERŮ	57
8.1 Etylen – propylen – dienový kaučuk, EPDM	57
8.2 Perfluorový kaučuk (Perfluoroelastomer), FFKM (PFE)	58
ZÁVĚR	60
SEZNAM OBRÁZKŮ	62
SEZNAM TABULEK	64
SEZNAM LITERATURY	65
PROHLÁŠENÍ	70
DECLARATION	71

Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Akrylonitril – butadien – styren
ASA	Akrylonitril – styren – akrylát
AU	Polyester – uratanový kaučuk
CR	Chloroprenový kaučuk
EPDM	Etylen – propylen – dienový kaučuk
EPM	Etylen – propylenový kaučuk
EU	Polyester – uratanový kaučuk
FFKM	Perfluorový kaučuk
FKM	Fluorový kaučuk
HNBR	Hydrogenovaný akryl – butadienový kaučuk
MFR	Hmotnostní index toku taveniny
MVR	Objemový index toku taveniny
NBR	Akrylonitril – butadienový kaučuk
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PMVE	Perfluormethylvinyléter
PS	Polyestyren
PS-HI	Houževnatý polyestyren
PTFE	Polytetrafluorethylen
SAN	Styren-akrylonitril
SBR	Butadienový kaučuk

TFE	Tetrafluoretylen
UV	Ultrafialové záření
VMQ	Metyl – vinylsilikonový kaučuk
ε	Poměrné prodloužení [%]
σ	Napětí [MPa]

Úvod

Po době bronzové a železné lze s nadsázkou říci, že se nyní nacházíme v době plastů nebo také v době polymerové. Žádný jiný materiál v historii nezaznamenal tak prudký růst jako plast.

Podle údajů Plastics Europe, BASF a K2004 bylo v roce 2003 ve světě vyrobeno kolem 221 mil. tun plastů a kaučuku (z toho 176 mil. tun materiálů) včetně 19 mil. tun kaučuku na technickou pryž a pneumatiky. Pro srovnání: světová výroba surové oceli v roce 2003 dle údajů IISI představovala 965 mil. tun. Za 15 let se výroba plastů celosvětově zdvojnásobila; ocel k tomu potřebovala 35 let. [1]

Důvodem prudkého růstu výroby a uplatnění plastů jsou hlavně jejich vlastnosti. Mezi největší výhody patří několikanásobně menší hmotnost v porovnání s ostatními materiály. Dobrá zpracovatelnost a tvárnost umožnila z plastů vytvářet nové a složitější tvary výrobků.

Postupně plasty pronikly do všech odvětví průmyslu, zejména pak do obalového, elektrotechnického a automobilového. Mimořádně významná je jejich úloha i v letectví a kosmonautice (skafandry, solární vozidla aj.), ve zdravotnictví (biologicky odbouratelné polymery, s jejichž pomocí může lékař vytvořit tělesnou tkáň pacientům postiženým úrazem, srdeční systémy, systémy srdečních chlopní, systémy ochrany před syndromem náhlého úmrtí atd.), ale i při výrobě spotřebního zboží, kde je nejvíce oceňována možnost zpracovat plast do jakéhokoliv tvaru. [2]

Terpolymery jsou díky svým dobrým vlastnostem velmi používanou skupinou plastů. Důvodem zadání této bakalářské práce je nedostatek ucelených a aktuálních česky psaných informací o těchto materiálech. Terpolymerů existuje velké množství a v této práci jsou zpracovány nejpoužívanější z nich. Největší část je věnována ABS, který je velmi rozšířen.

1. Plasty

1.1 Obecně

Plast je makromolekulární látka, která má molekulovou hmotnost vyšší než 10000. Z chemického hlediska se jedná o organické sloučeniny. Makromolekulární látky se připravují polyreakcemi. Ve své podstatě to jsou jednoduché chemické reakce, které se mohou mnohokrát opakovat. Polyreakce se mohou účastnit jen takové chemické sloučeniny, které mají v molekule alespoň dvě funkční skupiny schopné reagovat s dalšími molekulami. Opakování reakce je tedy umožněno vhodnou chemickou strukturou výchozích nízkomolekulárních sloučenin, které se označují monomer. Spojením mnoha monomerních jednotek vzniká polymer, což je látka se zcela novými vlastnostmi. [3]

1.2 Polyreakce

Polyreakce existují tři: polymerace, polykondenzace a polyadice. Polymerace má tři stádia – iniciaci, propagaci a terminaci. Jedná se o rychlou reakci, která nelze zastavit a nevzniká při ní vedlejší produkt. Polymerací vzniká kolem 90 % termoplastů. Pokud spolu reagují dva a více monomerů, jedná se o kopolymeraci. Polykondenzace používaná pro reaktoplasty je oproti polymeraci pomalá, je možné ji zastavit a pokračovat až ve výrobě (např. reakční vstřikování). Při této reakci vzniká vedlejší produkt, kterým je voda. Poslední polyadice je také pomalá a nevzniká při ní žádný vedlejší produkt.

Podle toho z kolika monomerů vznikají makromolekuly polymeru, rozlišujeme výsledné produkty na monomery, homopolymery, kopolymery, terpolymery a multipolymery.

Pokud je výsledný produkt ze stejného typu monomeru, nazýváme ho homopolymer. Kopolymery mají dva typy monomerů a patří mezi ně velmi používaný styren - butadien (SBR). Terpolymery vznikají ze tří typů monomerů a poslední multipolymery obsahují čtyři a více typů monomerů.

2. Terpolymery

2.1 Definice terpolymeru

Terpolymer je makromolekulární látka, která se skládá ze tří různých monomerů. Jde o vyšší stupeň modifikace, což umožňuje zlepšování vlastností, které by jinak nebylo možné získat.

2.2 Vybrané terpolymery zpracované v této práci

- Akrylonitril – butadien – styren (ABS)
- Methylmethakrylát – butadien – styren (MBS)
- Akrylonitril – styren – akrylát (ASA)
- Akrylonitril – etylen – styren (AES)
- Etylen – propylen – dienový kaučuk (EPDM)
- Perfluorový kaučuk (FFKM nebo PFE)

3. Akrylonitril – butadien – styren, ABS

3.1 Základní charakteristika

ABS je amorfní plast, který je velmi rozšířen a využíván. V závislosti na poměru jednotlivých složek, které ho tvoří lze dosáhnout rozmanitých vlastností. V porovnání s ostatními plasty má ABS nejvíce typů.

Mezi hlavní výhody ABS patří:

- pevnost a houževnatost,
- odolnost proti rázům,
- odolnost proti chvění a vibracím,
- odolnost proti oděru,
- hladký a tvrdý povrch,
- velký součinitel útlumu,
- nízká tepelná vodivost,
- malá elektrická vodivost,
- jednoduchá zpracovatelnost a využití technologií,
- možnost pokovovat a lakovat,
- tvarová stálost v širokém rozsahu teplot,
- hygienická nezávadnost,
- chemická odolnost.

Jako nevýhody lze jmenovat:

- malá odolnost proti povětrnostním vlivům a UV,
- při hoření vzniká mnoho dýmu,

- navlhavost,
- nelze získat transparentní ABS,
- vyšší cena.

3.2 Historie

Jako první uvedla terpolymer složený z akrylonitrilu, butadienu a styrenu firma U. S. Rubber. Bylo to koncem 40. let 20. století. Jednalo se o směs kaučukovitého kopolymeru butadienu s akrylonitrilem a tuhého kopolymeru styrenu s akrylonitrilem. Tento termoplast byl využíván na vytlačování trubek a válcování desek.

V padesátých letech se objevila nová technologie – roubování. Tato technologie měla velký vliv na zlepšení vlastností ABS. V tuto dobu se také začaly rozvíjet zpracovatelské technologie – vstřikování, vytlačování a tvarování.

V 60. letech byl termoplast ABS již běžně využívaným plastem, ale jeho cena byla vysoká, což omezovalo jeho rozšíření. Využití pro něj bylo pouze ve speciálních konstrukcích a automobilovém průmyslu. V tuto dobu se začínalo s výrobou polystyrenových hmot v tehdejším Československu.

3.3 Technologie výroby

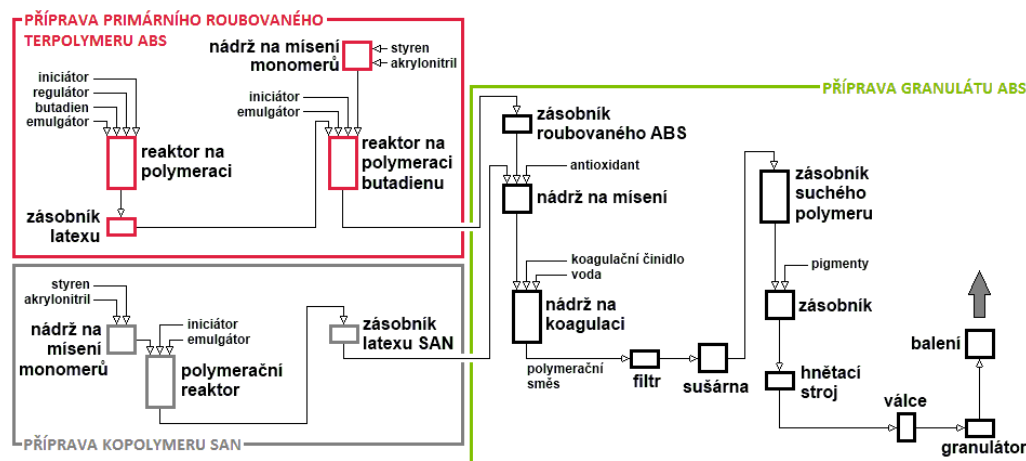
Základní monomery – akrylonitril, butadien, styren, mohou za vhodných podmínek tvořit homopolymery nebo libovolné kombinace kopolymerů a terpolymerů. Lze připravit řadu polymerů, z nichž však jen některé dosahují při správné přípravě a správném vzájemném poměru složek požadovaných fyzikálně mechanických vlastností. [4]

Klasické míchání jednotlivých složek není vhodné, protože docílíme směsi, která nemá praktické využití. Nepoužitelný produkt získáme i v případě, že proběhne polymerace všech tří složek najednou. Terpolymer tak vznikne, ale má velmi špatnou termickou stálost a houževnatost. Aby byl výsledný produkt použitelný,

musí příprava probíhat separovaně. Důležité je, aby směs elastomerního polymeru s převládající složkou butadienu byla dobře rozložena v termoplastickém kopolymeru styrenu s akrylonitrilem.

Správné rozložení jednotlivých složek lze zajistit dvěma způsoby. Prvním je mísení, kdy se složky mechanicky promíchávají. Druhým způsobem je roubování. Mísením se v porovnání s roubováním nedosahuje tak kvalitních výsledných produktů. Další nevýhodou mísení je nedostatečná flexibilita procesu.

Dnes se ABS vyrábí převážně technologií roubování (obr. 1), při které je možné vyrobit materiál s požadovanou kvalitou. Velkou výhodou je možnost řízení procesu a tím i výsledných vlastností produktu.



Obr. 1: Schéma technologie roubování [4]

Roubování je polymerace monomerů za přítomnosti předem připraveného základního polymeru, který má dvojně vazby. Na základní polymer se vážou nové řetězce (rouby), vznikající polymerací přidaných monomerů. Principem je, že se nejprve chemicky roubuje monomerní styren s akrylonitrilem na základní polybutadienový řetězec a až potom se mísí s termoplastickou složkou kopolymeru styren-akrylonitril. [4] Při roubování lze použít dva způsoby, jakými bude polymerace probíhat: emulzní a suspenzní.

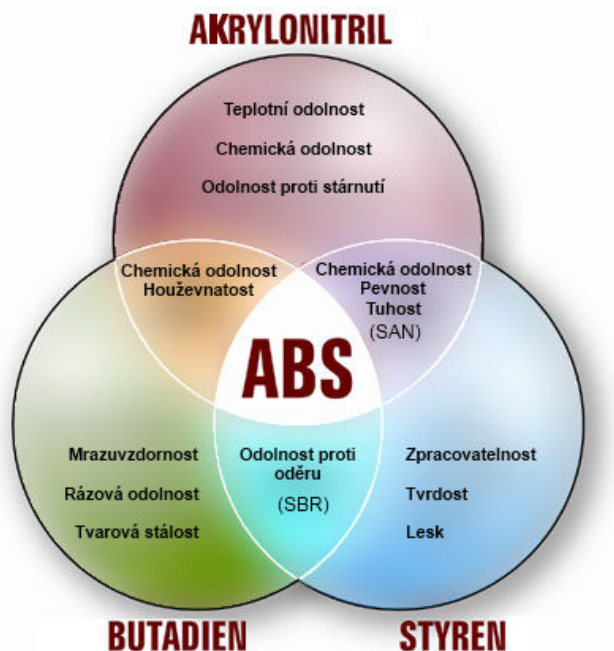
Suspenzní polymerace je velmi komplikovaná, a proto je vhodná jen pro určité typy ABS. Jedná se hlavně o typy s vysokým procentem butadienu, kdy se při překročení určité hranice narušuje stabilita suspenze.

Emulzní polymerace probíhá tak, že se směs monomeru styrenu a akrylonitrilu dává přímo do polybutadienového latexu. Při míchání a teplotě 50 °C se směs monomerů přichytává na částice polybutadienového latexu. Dalším zvýšením teploty na 80 °C a přidáním iniciátoru a emulgátoru se odstartuje roubovaná polymerace.

3.4 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti

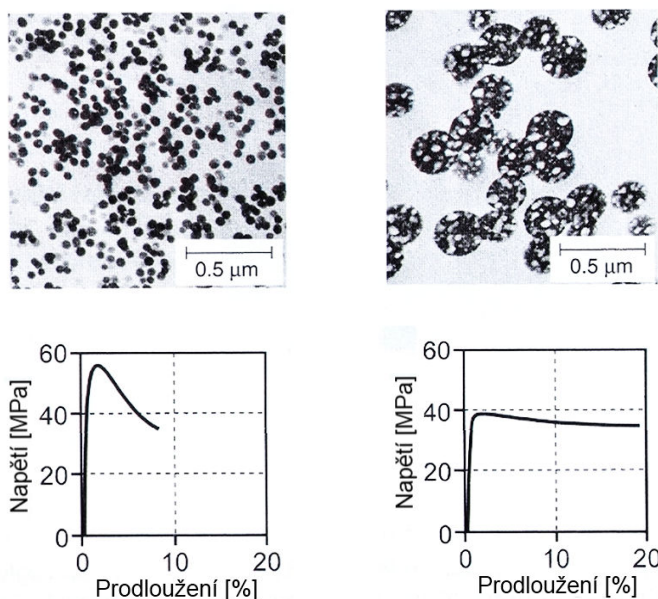
Vlastnosti ABS ovlivňuje celý průběh výroby. Emulgátor má přímý vliv na stupeň naroubování. Pokud je emulgátoru mnoho, styren a akrylonitril začnou kopolymerovat a výsledný produkt nedosáhne požadovaného stupně naroubování. Málo emulgátoru vede k přeroubování, což je také nežádoucí.

Kombinací různých poměrů akrylonitrilu, styrenu a butadienu můžeme ovlivňovat vlastnosti výsledného produktu ve velmi širokém rozmezí. Vliv jednotlivých složek na výsledné vlastnosti ABS je vidět na obr. 2. Poměr složek se pohybuje v rozsahu: 15 – 35 % akrylonitrilu, 5 – 30 % butadienu, 40 – 60 % styrenu.



Obr. 2: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti ABS [5]

Butadien významně ovlivňuje houževnatost, pevnost, tuhost a teplotní odolnost. Z obr. 3 je vidět, že pokud jsou částice butadienu v ABS malé, zvyšuje se pevnost, ale zhoršuje tažnost. U velkých částic butadienu je tomu naopak, tj. klesá pevnost, ale roste tažnost. ABS s velkými částicemi butadienu, se tažností a pevností velmi podobá PS - HI. Butadien také dává výslednému produktu odolnost při nízkých teplotách, a proto je možné ABS využít i při teplotách kolem $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samotný butadien je plyn se svým charakteristickým zápachem, který se při smíchání se vzduchem stává výbušným.



Obr. 3: Vliv velikosti částic butadienu na průběh křivky napětí a deformace ABS [6]

Akrylonitril zajišťuje chemickou stálost výsledného produktu. Dále má za následek vznik určité polarizace, a proto je ABS navlhavý, takže se před zpracováním musí sušit. Polarita je však tak malá, že se ABS považuje za nepolární plast. Samotný akrylonitril je bezbarvá až nažloutlá kapalina s extrémní hořlavostí a toxickými účinky. Hustota je $800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a var nastává při $77\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve směsi se vzduchem je výbušný.

Styrenová složka má vliv na pevnost, otěruvzdornost, obrobitelnost a tvárnost. Díky styrenu je povrch ABS hladký a lesklý. Čistý styren je bezbarvá olejovitá kapalina se sladkým zápachem, teplotou tání $-30,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplotou varu $145,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a hustotou $906\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Jeho páry jsou těžší než vzduch. Styren je špatně rozpustný ve vodě, ale dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech, jako jsou

alkoholy, ethery, aceton a sirouhlík. [7] Stejně jako butadien a akrylonitril je ve směsi se vzduchem výbušný.

3.5 Mechanické vlastnosti

Na mechanické vlastnosti má také velký vliv technologie zpracování, protože zapříčiňuje orientaci makromolekul a tím vznik anizotropie.

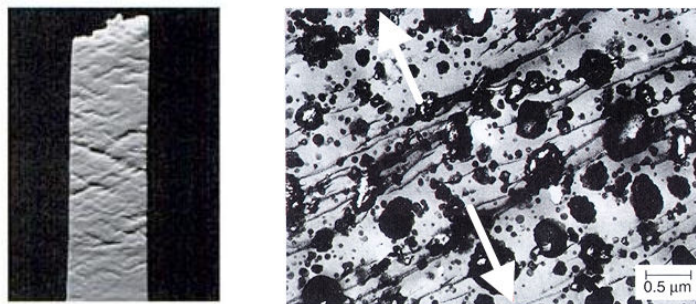
ABS je houževnatý materiál, čemuž odpovídá i průběh napětí a deformace. Při malém zatížení má křivka lineární průběh až do překročení meze kluzu, kde jsou deformace trvalé.

Mez pevnosti v tahu se u ABS pohybuje v rozsahu 29,6 až 40,1 MPa. Tento rozsah je zapříčiněn modifikovatelností vlastností v závislosti na poměru jednotlivých složek, které ABS tvoří.

Tažnost se pohybuje od 3,1 do 25 %. Je to opět způsobeno modifikovatelností ABS. Obecně lze říci, že čím vyšší je mez pevnosti, tím nižší je tažnost a houževnatost. Naopak čím vyšší je tažnost a houževnatost, tím nižší je pevnost.

Krátkodobý modul pružnosti v tahu se určuje ze zatěžovacího diagramu v oblasti počáteční lineární fáze. [4] Hodnoty se pohybují v rozmezí od 1750 do 2920 MPa. Velmi blízký těmto hodnotám je i modul pružnosti v ohybu s hodnotami 1760 až 2800 MPa.

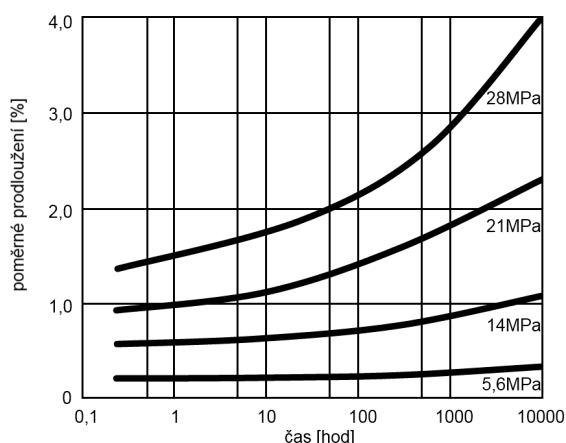
Díky amorfnní struktuře se při zatížení ABS tahem začínají objevovat krejzy (obr. 4), což jsou vlastně vlasové trhlinky, které vznikají kolmo na směr tahového zatížení.



Obr. 4: Krejzy vzniklé tahovým zatížením ABS [6] [8]

Rázová houževnatost vyjadřuje, jak je materiál schopný odolávat rázům. Houževnatost je závislá na směru orientace makromolekul a to tak, že ve směru je houževnatost vždy vyšší. Při zkoušce vrubové houževnatosti dle Charpyho při 23 °C dosahuje ABS hodnot 5,9 až 30 kJ/m². Při teplotě - 30 °C houževnatost klesá na 7,95 kJ/m².

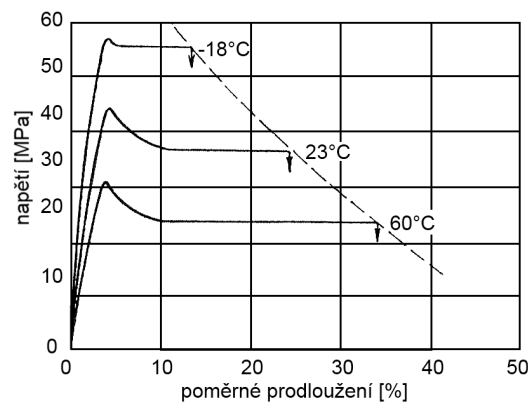
Kríp – konstantní statické zatížení je u plastů stejně důležité jako napětí - deformace u kovů. [4] Jedná se o dlouhodobou zkoušku, která je náročná na čas a tím i drahá. Obecně mají dlouhodobé zkoušky u plastů větší význam než ty krátkodobé, jejichž výsledky se hodí spíše ke srovnání. Podle výsledků dlouhodobých zkoušek je možné určit životnost a bezpečnost výrobků, která je v mnohých aplikacích velmi důležitá. Na obr. 5 jsou zobrazeny krípové křivky při různém zatížení pro středně houževnatý ABS.



Obr. 5: Krípové křivky ABS při různém osovém zatížení (23 °C) [4]

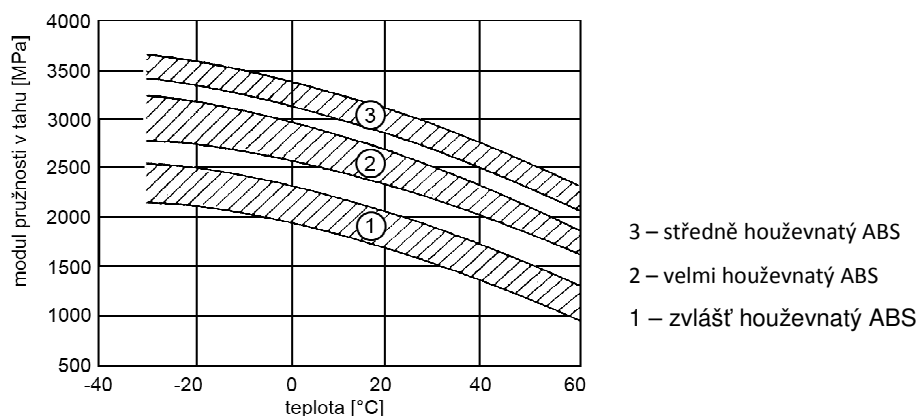
Křípová zkouška má několik fází – primární, sekundární a terciární. V primární fázi ihned po zatížení dochází ke snižování rychlosti tečení a deformace se po odstranění zatížení vrátí do původního stavu. V sekundárním křípu je již deformace trvalá a její rychlost probíhá konstantně. V poslední - terciární fázi rychlost deformace vzrůstá a pokračuje až do porušení materiálu.

Změny vlastností v závislosti na teplotě jsou nejen u ABS, ale u všech termoplastů důležitým údajem a je nutné je znát pro využití v konstrukčním řešení. Teplota nemá vliv jen na mechanické vlastnosti, ale také na stárnutí. Dále je třeba brát na vědomí, že na vlastnosti při nízkých a vysokých teplotách má vliv i okolí (vlhkost, chemické složení, namáhání atd.).



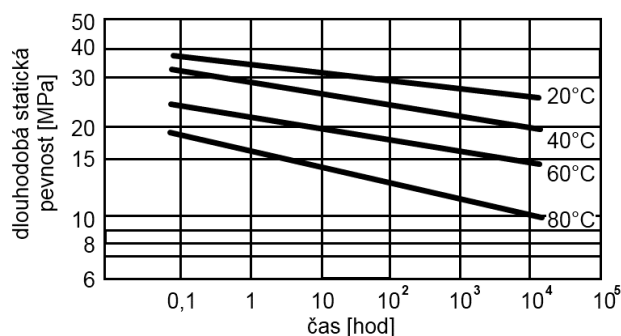
Obr. 6: Křivky napětí a deformace při namáhání v tahu terpolymeru ABS při různých teplotách. [4]

Na obr. 6 je patrné, že se stoupající teplotou pevnost ABS klesá, ale zlepšuje se tažnost. Hodnota modulu pružnosti se stoupající teplotou klesá (obr. 7). Rázová houževnatost se zvyšující se teplotou roste. Tato rostoucí tendence však platí jen do určité hodnoty a po jejím překročení houževnatost klesá.



Obr. 7: Závislost modulu pružnosti v tahu a teploty terpolymeru ABS. [4]

Teplota, které je ABS vystaven, má vliv i na průběh kríkových zkoušek (obr. 8). Vyšší teplota znamená, že je nižší dlouhodobá pevnost, což má negativní vliv na životnost.



Obr. 8: Průběh dlouhodobé statické pevnosti ABS v závislosti na teplotě a čase [4]

3.6 Elektrické vlastnosti

Terpolymer ABS se chová jako dielektrikum, což je typické pro většinu plastů. [4] Izolační schopnosti mohou být ovlivněny tím, že ABS navlhne a na povrchu vznikne vodivá vrstva. Celkově se ABS chová jako nepolární, tedy nemá trvalý dipól, ale v určité omezené míře vykazuje i polární vlastnosti, které mu dává akrylonitrilová složka.

3.7 Tepelné vlastnosti

ABS patří mezi amorfní termoplasty, které je nutné používat pod teplotou zesklenní T_g (u ABS okolo 100 °C), protože při překročení této teploty dochází ke ztrátě mechanických vlastností a materiál je v konstrukci nepoužitelný.

Krátkodobá teplotní mez ABS, tedy teplota, kdy materiál začíná ztrácet své mechanické vlastnosti, se pohybuje v rozmezí 85 až 95 °C a doba takovéto teplotní zátěže by neměla přesáhnout několik minut.

Dlouhodobá teplotní mez, kdy je možné ABS používat bez ztráty mechanických vlastností, se pohybuje od 75 až 85 °C. Teplota, při které ABS ztrácí svojí houževnatost - teplota křehnutí, je okolo – 30 °C.

3.8 Chemické vlastnosti

Působením prostředí se může změnit vzhled, ale také mechanické vlastnosti. Odolnost značně ovlivňují i přísady - stabilizátory, pigmenty a plniva.

Díky své amorfní struktuře má ABS vyšší sklony k bobtnání a chemickým reakcím s prostředím, než struktury krystalické. Vzhledem ke svému nepolárnímu charakteru je ABS odolný polárním látkám jako např. vodné roztoky solí, anorganické kyseliny, roztoky hydroxidů alkalických kovů a alkoholů. ABS obsahuje polární akrylonitrilovou složku, která v malé míře zajišťuje i odolnost proti nepolárním látkám, jako jsou benzíny a oleje. ABS silně narušují organická rozpouštědla (estery, ethery, ketony, chlorované a aromatické uhlovodíky), a proto je nutné se aplikacím ABS v tomto prostředí vyhnout. Se sníženou odolností je třeba počítat i v prostředí s polárními chemikáliemi.

3.9 Atmosférické stárnutí

Povětrnostní vlivy (sluneční záření, teplota, vzdušný kyslík, vlhkost vzduchu, déšť, prach atd.) zhoršují mechanické i elektrické vlastnosti ABS. Tomuto

nedostatku lze zabránit povrchovými úpravami, jako je lakování nebo pokovování, které má navíc posilující účinek na mechanické vlastnosti.

Degradací je postižena především butadienová složka, která je méně odolná proti ultrafialovému záření a působení difuzního kyslíku. Jako vhodné měřítko pro zjištění stupně degradace je rázová houževnatost, protože ji ABS dává právě butadienová složka, která je rozptýlena ve styrenu a akrylonitrilu. Zkoušku rázové houževnatosti je vhodné provádět na zkušebním vzorku bez vrubu, který by zkreslil výsledky. Na povrchu ABS se totiž vlivem stárnutí objevují trhlinky, které se projeví na mechanických vlastnostech.

Viditelným projevem degradace je žloutnutí výrobku a vznik již zmíněných mikroskopických trhlinek, které jsou nepravidelně uspořádány. Vlivem povětrnosti (fotooxidační degradace) se na povrchu vytváří rychle rostoucí křehká vrstva. Postupem času se růst této vrstvy úplně zastaví. Porovnání dílu vystaveného UV záření a dílu skladovaného mimo UV záření je vidět na obr. 9. Díl vystavený účinkům ultrafialového záření viditelně změnil barvu - zežloutnul.



Obr. 9: Stavebnice LEGO. Díl vystavený UV záření (nahore), díl nevystavený UV záření (dole).

3.10 Cena

Cena ABS se pohybuje v rozmezí 0,85 až 1 USD za 1 libru, což je zhruba 35 až 41 Kč za 1 kg (kurz 18,60 Kč za 1 USD). Cena se zvyšuje, pokud se do základního ABS přidá další polymer: ABS + PC 62 Kč/1kg, ABS + PMMA 53 Kč/1kg a ABS + PA 66 Kč/1kg (údaje z 2/2010).

3.11 Vybrané obchodní názvy a výrobci

Terluran® (BASF Corporation), Forsan (Kaučuk, a.s.), 4LAC® (4Plas), ALCOM® (Albis Plastic GmbH), Badalac® (Bada AG) a další.

3.12 Použití ABS v praxi

FDM rapid prototyping - jedná se o počítačem řízený 3D tisk vyvinutý společností Stratasys. ABS ve formě vlákna se taví a přes trysku nanáší do jednotlivých vrstev. Výsledný model je velmi přesný a je možné vyrobit prakticky jakýkoli tvar. Tato technologie umožňuje za několik hodin získat funkční prototyp. Výhoda FDM je právě ve využití ABS pro výrobu modelu, který má potom velmi dobré mechanické vlastnosti a do určité míry lze takto získaný model použít přímo do konstrukce. Náklady na takto vyrobený model jsou nižší, než při využití klasických výrobních technologií. Modely lze navíc vzhledově vylepšit lakováním apod.

Stavebnice LEGO – k výrobě dílů této stavebnice se ABS používá kvůli své odolnosti a také kvalitě (lesku) povrchu. Díly se vyrábějí vstřikováním a je vyžadována vysoká rozměrová přesnost, kterou je díky stabilitě ABS možné dosáhnout. Tolerance se pohybují v řádu tisícin a musí být zajištěna i u nejdelších dílů. Je tak zajištěna požadovaná síla na skládání dílů mezi sebou a pak i jejich snadné rozkládání.

Z ABS není problém vyrobit ani velmi tvarově složité díly (obr. 10). Využívá na výrobu příslušenství k počítačům (myši, části tiskáren, kryty), součásti automobilů (přístrojové desky, části karoserie), části zahradní techniky (madla, kryty), těla elektrických přístrojů (dálkové ovladače, mobilní telefony) a hračky (stavebnice, modely)

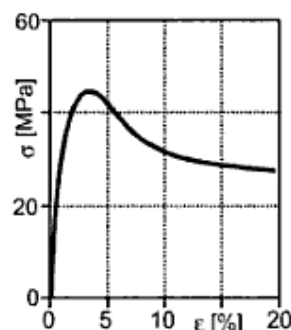
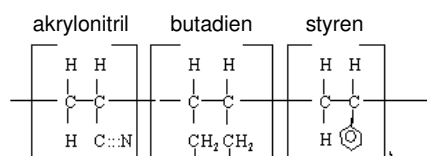


Obr. 10. Horní kryt počítačové myši Genius Ergo 525 vyrobený vstřikováním

3.13 Shrnutí

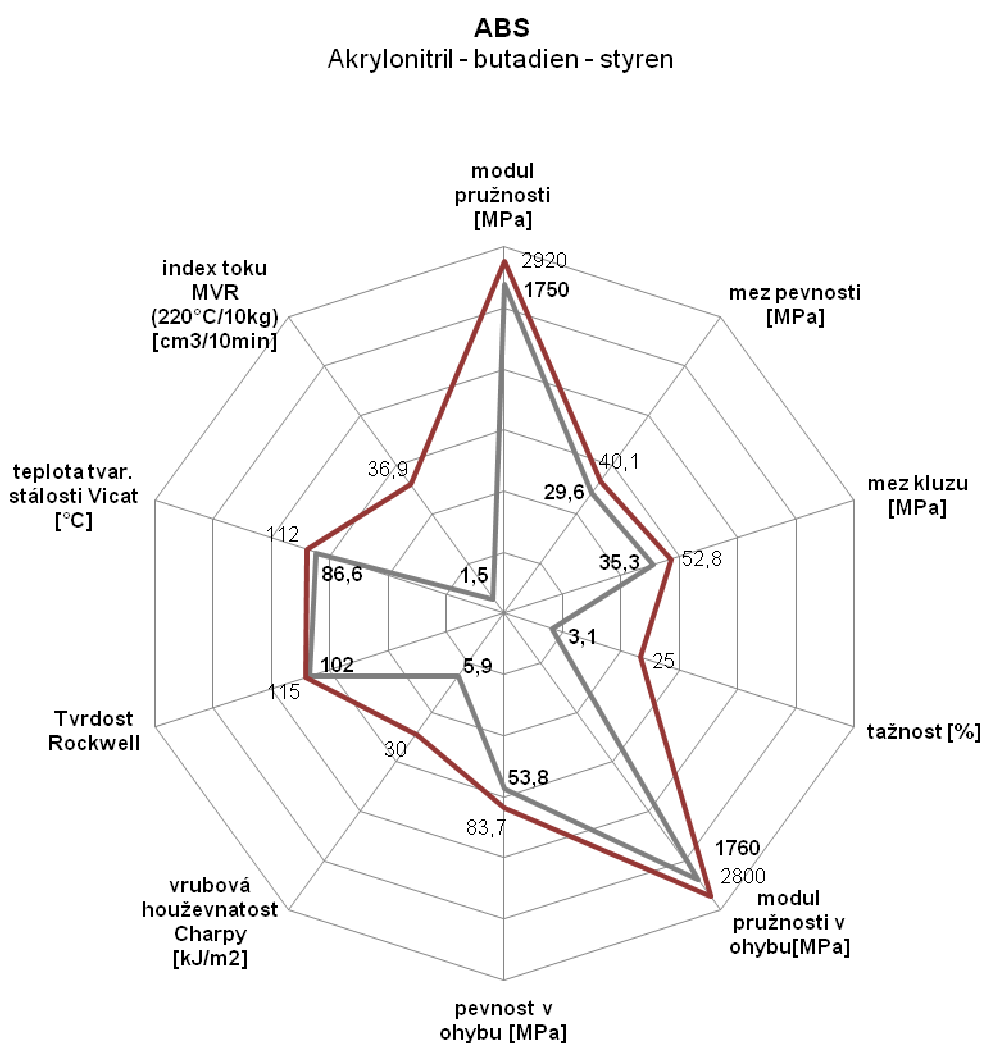
Tab. 1: Vlastnosti ABS [6] [9]

ABS (AKRYLONITRIL – BUTADIEN – STYREN)			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,01 – 1,07 g/cm ³
modul pružnosti	1750 – 2920 MPa	smrštění	0,49 – 0,65 %
mez pevnosti	29,6 – 40,1 MPa	navlhavost	0,30 – 0,31 %
mez kluzu	35,3 – 52,8 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	1,5 – 3,2 %	MFR (220 °C/10kg)	1 – 37 g/10min
tažnost	3,1 – 25 %	MVR (220 °C/10kg)	1,5 – 36,9 cm ³ /10min
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní
modul pružnosti v ohybu	1760 – 2800 MPa	Výroba:	polymerace
pevnost v ohybu	53,8 – 83,7 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	5,9–30(7,95)kJ/m ²		
Charpy rázová	8 – 180 kJ/m ²		
Izod vrubová	2,3 – 30,1 kJ/m ²		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	102 - 115		
Brinell	-		
Teploty:			
zeskelnění	110 °C		
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	86,8 – 112 °C		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	73,3 – 96,6 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	71,8 – 103 °C		
krátkodobá teplotní mez	85 – 95 °C		
dlouhodobá teplotní mez	75 – 85 °C		
Optické vlastnosti:			
index lomu	-		
světelná propustnost	-		
<p>Charakteristika: pevný, houževnatý, odolný proti vibracím a oděru, hladký povrch, velký součinitel útlumu, nízká tepelná vodivost neodolává povětrnostním vlivům – křehne, neprůhledný</p> <p>Elektrické vlastnosti: horší elektrická izolace</p> <p>Chemické vlastnosti: odolnost proti vodě, kyselinám, zásadám, neodolává chlorovaným a aromatickým uhlovodíkům, esterům, ketonům</p> <p>Technologie: vstřikování, vyfukování, vytlačování, tvarování, lepení, svařování, potiskování, pokovování</p> <p>Poznávací znaky: hoří žlutým plamenem, černý dým</p>			
Technologické parametry:			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	78,8 – 90,6 °C	teplota sušení	79,4 – 88,2 °C



čas sušení	2 – 3,6 hod	čas sušení	2 – 4,8 hod
teplota zpracování (tání)	224 – 246 °C	teplota zpracování (tání)	195 – 246 °C
teplota formy	49,2 – 75,4 °C		
rychlost šneku	45 – 75 ot/min		

Přehled konkrétních hodnot vlastností ABS je uveden v tab. 1. Na diagramu (obr. 11) je porovnání maximální a minimální hodnoty u některých vybraných vlastností ABS. Je zde dobře vidět rozsah, který je možné u ABS dosáhnout.



Obr. 11: Vybrané vlastnosti ABS. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

4. Směsi ABS s jinými polymery, tzv. blend

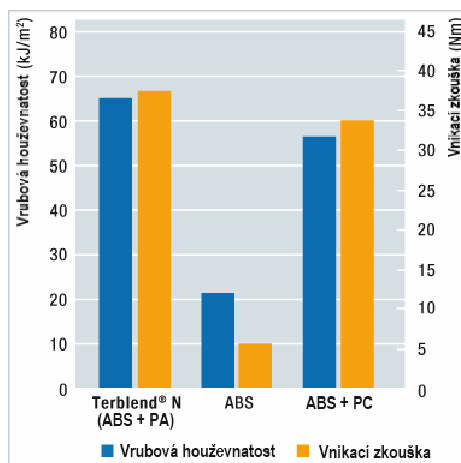
Na směsích je výhodné, že si jednotlivé složky uchovávají své specifické vlastnosti a dochází tak k dalšímu zlepšení vlastností.

4.1 Akrylonitril – butadien – styren + polyamid, ABS + PA

ABS + PA je vysoce stabilní směs, která kombinuje dobré vlastnosti jednotlivých složek. Spojení ABS a PA do směsi poskytuje zajímavou kombinaci důležitých vlastností výrobku: vynikající rázová houževnatost při vysokých i nízkých teplotách, vysoká kvalita povrchu, snadné zpracování, chemická odolnost, tepelná odolnost a příjemnost na omak. [10]

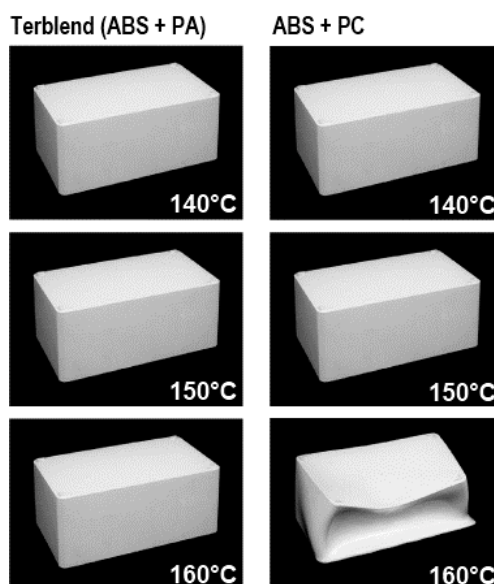
Díky polyamidové složce je ABS + PA chemicky odolný proti látkám, které se používají v automobilovém průmyslu a proto je zde také velmi využíván. Vysoká schopnost útlumu (velký akustický ztrátový součinitel) se využívá v automobilech pro odhlučnění interiéru.

Mechanická odolnost u směsi ABS s PA je velmi dobrá a to i při nízkých teplotách. Tento materiál absorbuje vlhkost, což má za následek pokles tuhosti, ale zvýšení rázové houževnatosti. Při porovnání vrubové houževnatosti (obr. 12) má ABS + PA několikanásobně větší hodnoty než samotný ABS. Houževnatost je vyšší i v porovnání s ABS + PC. Stejně dobré výsledky podává materiál při vnikací zkoušce.



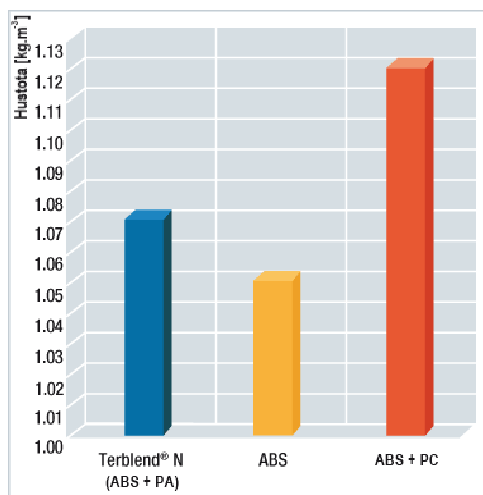
Obr. 12: Vrubová a vnikací zkouška u ABS + PA (Terblend® N), ABS a ABS + PC [11]

ABS + PA má díky kombinaci amorfního a semikrystalického materiálu lepší tepelnou odolnost než je tomu např. u ABS + PC. Na obr. 13 jsou boxy vyrobené vstřikováním z materiálu Terblend® N (zástupce ABS + PA) a ABS + PC. Po 2 hodinovém zahřívání a následném chlazení na neproudícím vzduchu drží ABS + PA stále svůj tvar i při teplotách kolem 160 °C.



Obr. 13: Tepelná odolnost ABS + PA a ABS + PC [11]

Hustota (obr. 14) ABS + PA je v porovnání ABS + PC nižší. Je to způsobeno malou hustotou ABS i PA.



Obr. 14. Hustota Terblend® N (ABS+PA), ABS a ABS+PC [11]

Povrch může být matný (hrubý povrch) nebo lesklý (hladký povrch). U ABS + PA jsou na povrchu méně viditelné stopy od toku materiálu při plnění formy vstřikováním. Tento materiál lze bez problémů lakovat.

Vybrané obchodní názvy a výrobci: Terblend® N (BASF), Novalloy-A (PlastxWorld Inc.), Verilloy (PlastxWorld Inc.), Triax® (INEOS ABS S.L.).

Použití ABS + PA v praxi:

Kapotáž motocyklu Triumph Daytona 675 (obr. 15). Kapotáž je vyrobena technologií vstřikování z materiálu firmy BASF s názvem Terblend® N. Aplikace tohoto materiálu byla navržena z důvodu snížení hmotnosti, která je u sportovních motocyklů velmi důležitým parametrem. Oproti ABS je směs ABS + PA tužší, při zachování přijatelné hmotnosti, která je u směsí s PC problém. Velmi dobrá odolnost proti vysokým teplotám, umožňuje kapotovat motocykl i v těsné blízkosti výfukového potrubí a motoru, což je výhodné při navrhování aerodynamiky motocyklu.



Obr. 15: Triumph Daytrona 675 s kapotáží z ABS + PA [12]

Komponenty přístrojové desky Fiat Stilo (obr. 16). Konkrétně to jsou mřížky topení, ovládání světel a kryt popelníku na středové konzoli. Materiál Terblend® N byl použit kvůli úspoře vysokých nákladů na lakování, protože má požadovaný matný vzhled. ABS + PA na pohyblivých dílech ofukovačů a popelníku navíc nevydává charakteristický plastový zvuk.



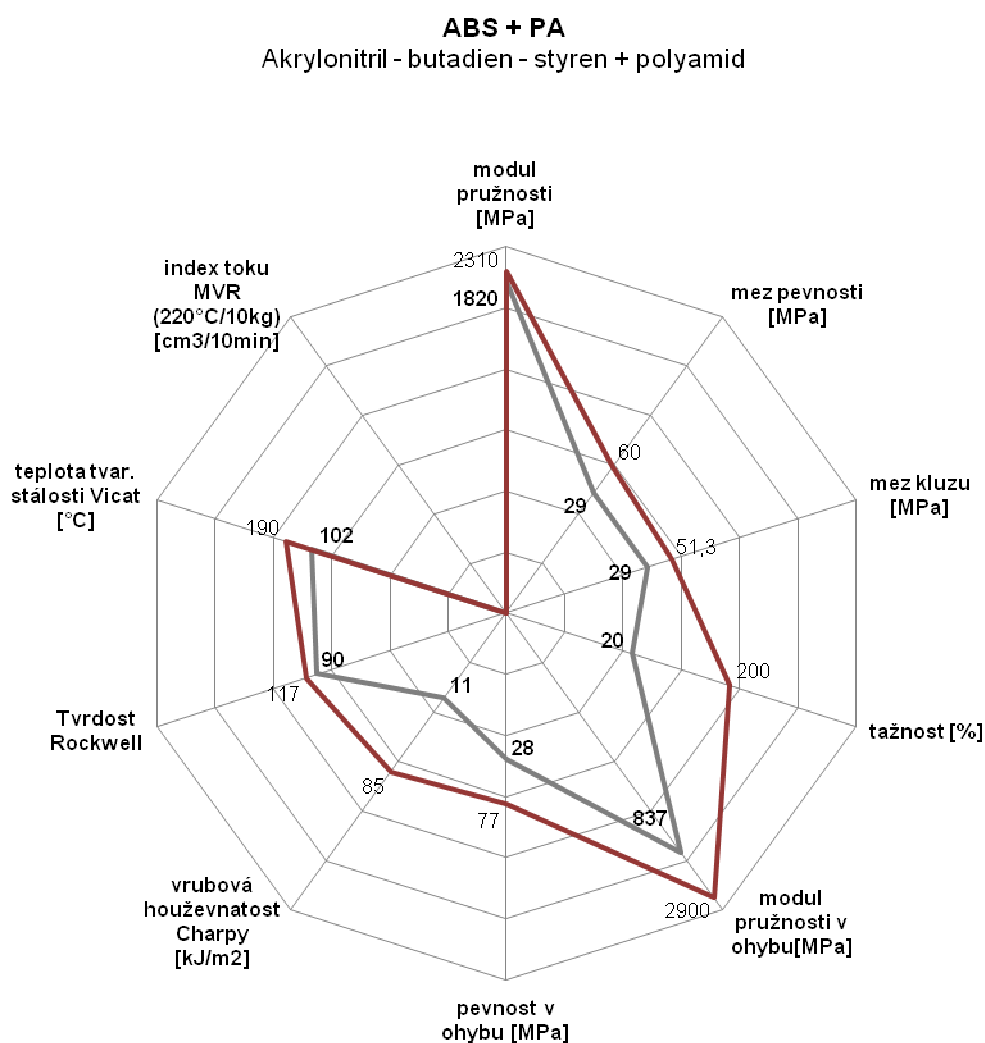
Obr. 16. Interiér Fiatu Stilo s vyznačenými díly ze směsi ABS + PA [13]

Shrnutí

Tab. 2: Vlastnosti ABS + PA

Blend ABS + PA			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,05 – 1,08 g/cm ³
modul pružnosti	1820 – 2310 MPa	smrštění	0,77 – 1,4 %
mez pevnosti	29 – 60 MPa	navlhavost	-
mez kluzu	29 – 51,3 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	8 %	MFR (220 °C/10kg)	-
tažnost	20 – 200 %	MVR (220 °C/10kg)	-
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní+semikrystalický
modul pružnosti v ohybu	837 – 2090 MPa	Výroba:	směs
pevnost v ohybu	28 – 77 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	11–85(18,9)kJ/m ²		
Charpy rázová	-		
Izod vrubová	59,7 – 70,4 kJ/m ²		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	90 – 117		
Brinell	-		
Teploty:			
zeskelnění			
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	102 – 190 °C		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	64,3 – 80 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	79,5 – 110 °C		
krátkodobá teplotní mez	-		
dlouhodobá teplotní mez	-		
Optické vlastnosti:			
index lomu	-		
světelná propustnost	-		
Charakteristika: nízká hmotnost, tepelná odolnost, vynikající rázová houževnatost, kvalitní povrch			
Chemické vlastnosti: odolný proti látkám použitým v automobilovém průmyslu			
Technologie: vstřikování			
Technologické parametry:			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	70 – 95,9 °C	teplota sušení	-
čas sušení	3 – 4,5 hod	čas sušení	-
teplota zpracování (tání)	230 – 265 °C	teplota zpracování (tání)	-
teplota formy	59,3 – 80 °C		
rychlost šneku	-		

V tab. 2 jsou uvedeny hodnoty některých vlastností ABS + PA. Na obr. 17 je opět diagram, který porovnává maximální a minimální hodnoty vybraných vlastností tohoto materiálu.



Obr. 17: Vybrané vlastnosti ABS + PA. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

4.2 Akrylonitril – butadien – styren + polykarbonát, ABS + PC

ABS + PC je velmi používaný materiál, u kterého se také podařilo zkombinovat žádoucí vlastnosti obou materiálů (obr. 18). Má výborné mechanické vlastnosti a zlepšenou tvarovou stálost za tepla. Dobrý je i poměr ceny a mechanických vlastností.



Obr. 18: Soubor vlastností, které vykazuje ABS + PC. [14]

Tento materiál je hojně využíván v automobilovém průmyslu, protože splňuje požadavky na spolehlivost v provozu, nízkou hmotnost a jednoduché zpracování i tvarově rozmanitých dílů. Úpravu vlastností je možné snadno provést změnou poměru ABS a PC, nebo přidáním speciálních přísad jako jsou zpomalovače hoření, plniva a UV stabilizátory. [15]

Vybrané obchodní názvy a výrobci ABS + PC: 4LOY® (4Plas), Bayblend® (Bayblend®), Novalloy (PlastxWorld Inc.), Xantar® (DSM Engineering Plastics).

Použití ABS + PC v praxi:

ABS + PC lze najít na exteriérových i interiérových dílech automobilů, jako jsou nárazníky, přístrojové desky, mřížky chladiče, prvky topení a klimatizace, těla světlometů a zrcátek, kliky dveří, mřížky reproduktorů, kryty kol a airbagů, atd.

Dveřní lišta v horní části dveří VW Beetle (obr. 19) vyrobená z Bayblend® T65. Tento materiál má vysokou tepelnou odolnost a vysokou rázovou

houževnatost. ABS + PC nemá třískovitý lom a to ani při nízkých teplotách, což je důležité pro bezpečnost při bočním nárazu. [16]



Obr. 19: Interiér VW Beetle s detailem na horní lištu dveří

Kryt mobilního telefonu Nokia 6500 Classic (obr. 20) kde je využita odolnost a zpracovatelnost, která dovoluje vstřikování takto tvarově složitých dílů. Důležitým faktorem je i cenová dostupnost ABS + PC. Tento materiál využívá na svých telefonech nejen Nokia, ale také Sony Ericsson a další výrobci.

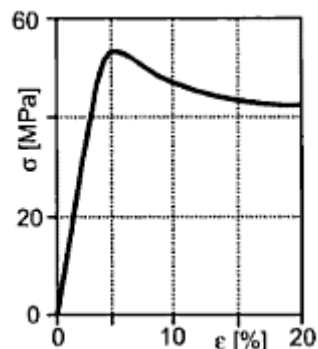


Obr. 20: Zadní kryt mobilního telefonu Nokia 6500 Classic

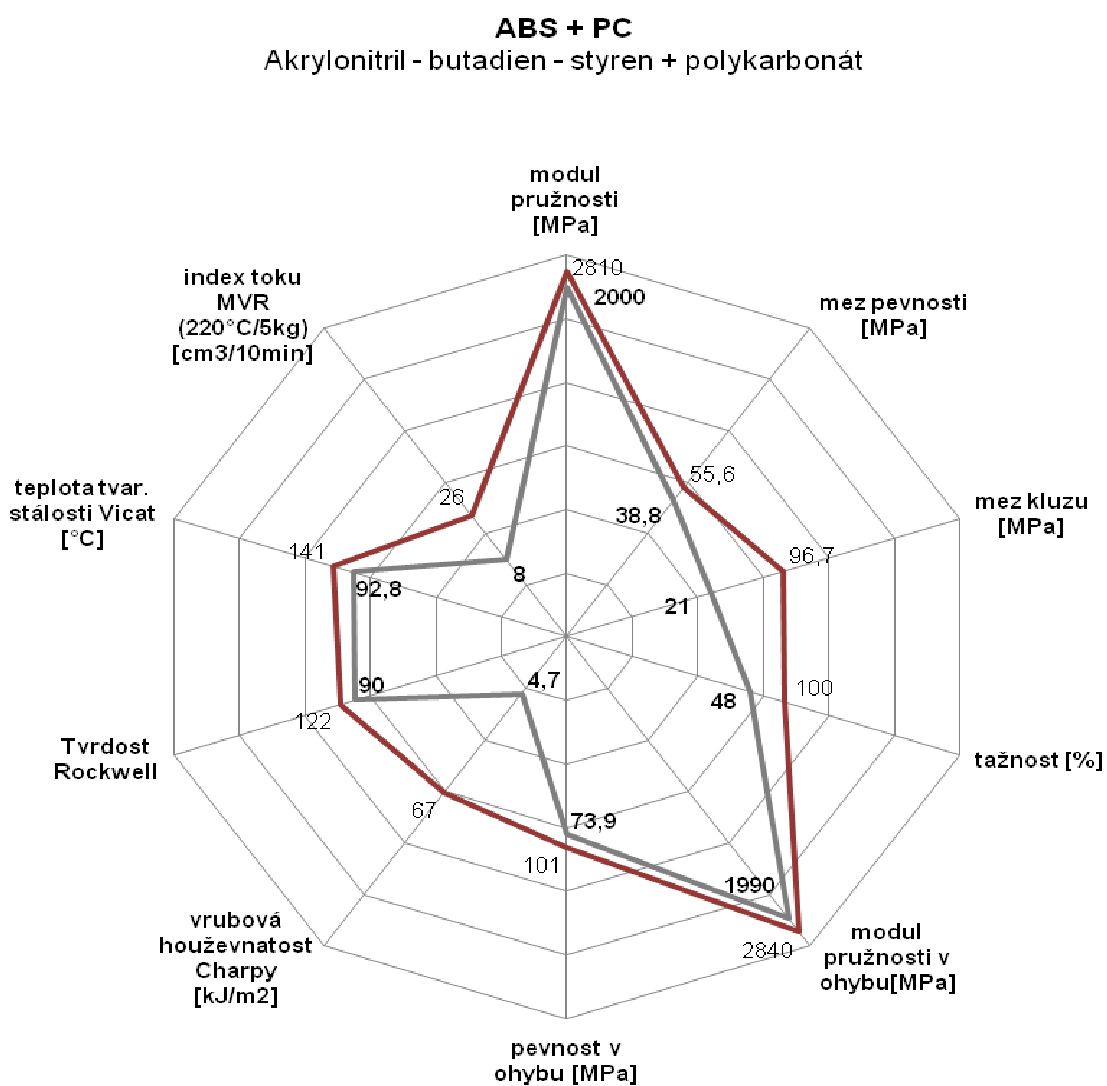
Shrnutí

Tab. 3: Vlastnosti ABS + PC [6]

Blend ABS + PC			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,1 – 1,2 g/cm ³
modul pružnosti	2000 – 2810 MPa	smrštění	0,48 – 0,60 %
mez pevnosti	38,8 – 55,6 MPa	navlhavost	0,09 – 0,7 %
mez kluzu	21 – 96,7 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	4 – 5,2 %	MFR (220 °C/5kg)	11 – 27 g/10min
tažnost	48 – 100 %	MVR (220 °C/5kg)	8 – 26 cm ³ /10min
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní
modul pružnosti v ohybu	1990 – 2840 MPa	Vůroha:	směs
pevnost v ohybu	73,9 – 101 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	4,7 – 67 (-) kJ/m ²		
Charpy rázová	-		
Izod vrubová	6,88 – 70,6 kJ/m ²		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	90 – 122		
Brinell	-		
Teploty:			
zeskelnění	110 °C		
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	92,8 – 141 °C		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	79,3 – 120 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	89,9 – 131 °C		
krátkodobá teplotní mez	115 – 130 °C		
dlouhodobá teplotní mez	105 – 115 °C		
Optické vlastnosti:			
index lomu	-		
světelná propustnost	-		
Charakteristika: neprůhledný, tepelně stabilní, tvarová stálost, lze lakovat a pokovovat			
Technologie: vstřikování, vytlačování			
Poznávací znaky: hoří jasným plamenem a sladce zapáchá			
Technologické parametry:			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	77,8 – 112 °C	teplota sušení	79 – 115 °C
čas sušení	3 – 4,2 hod	čas sušení	3 – 6 hod
teplota zpracování (tání)	248 – 288 °C	teplota zpracování (tání)	257 – 260 °C
teplota formy	58,9 – 87,8 °C		
rychlost šneku	49 – 57 ot/min		



Na obr. 21 je dobře vidět rozsah vlastností, který je možné u směsi ABS + PC dosáhnout. Hodnoty dalších vlastností jsou uvedeny v tab. 3.



Obr. 21: Vybrané vlastnosti ABS + PC. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

5. Methylmethakrylát – butadien – styren, MBS

5.1 Základní charakteristika

MBS se svými mechanickými vlastnostmi (hlavně houževnatostí) podobá ABS nebo houževnatému polystyrenu (PS-HI). Mezi velké plusy tohoto materiálu patří lesklost povrchu a průhlednost. Tvrdost MBS je větší než u ABS, ale kvůli methylmethakrylátu jsou některé mechanické vlastnosti nižší.

Pokud porovnáme MBS s ostatními transparentními plasty jako PC, PMMA a SAN, má MBS lepší tekutost, rázovou houževnatost a odolnost proti korozi. Naopak horší je u MBS pevnost a tvarová stálost v porovnání s PC, menší průhlednost a tím i propustnost světla v porovnání s PMMA, a menší tuhost a tvrdost v porovnání se SAN.

5.2 Technologie výroby

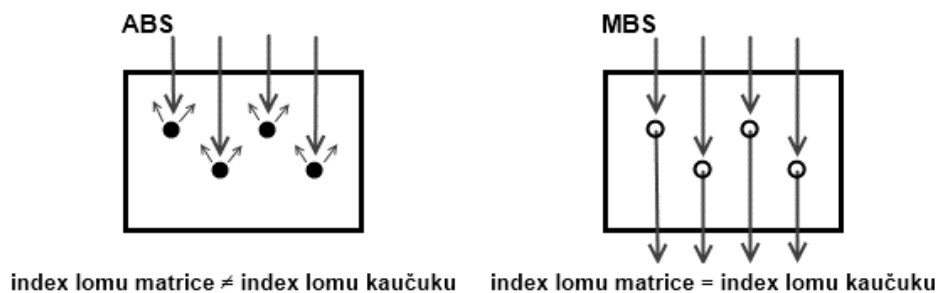
MBS je tvořen ze tří složek: styrenu, butadienu a methylmethakrylátu. Různými poměry jednotlivých složek lze dosahovat rozmanitých vlastností.

Připravuje se blokovou, suspenzní nebo emulzní polymerací, a to roubováním methylmethakrylátu a styrenu na polybutadien nebo methylmethakrylátu na butadien – styrenový kopolymer. [4]

5.3 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti

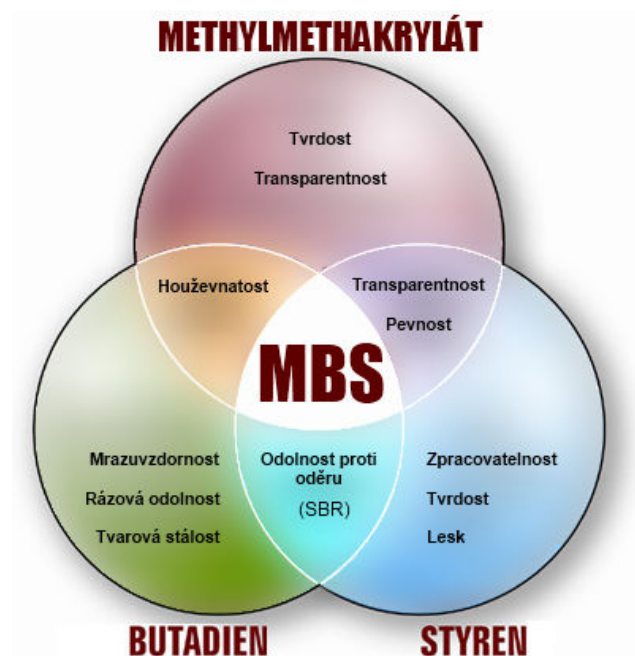
Obr. 23 ukazuje vliv methylmethakrylátu, butadienu a styrenu na výsledný MBS.

Methylmethakrylátová složka má za následek to, že index lomu matrice se přiblíží indexu lomu dispergované kaučukové fáze a tím se odstraní nežádoucí rozptýl světla. [17] MBS se tak stává průhledným. Na obr. 22 je zobrazen rozdíl průchodu světla u ABS (neprůhledný) a MBS. Nežádoucím důsledkem methylmethakrylátu je pokles pevnosti a modulu pružnosti (obr. 24).



Obr. 22: Rozdíl průchodu světla v ABS a MBS [18]

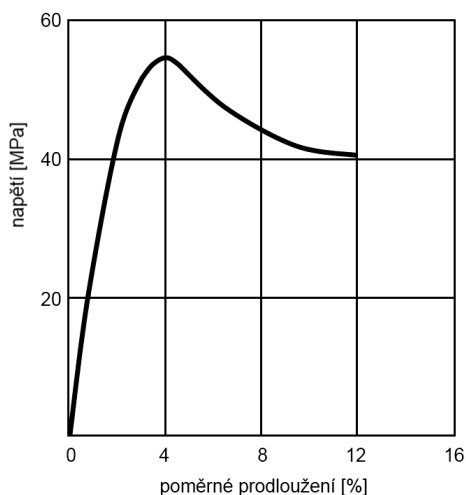
Styrenová a butadienová složka ovlivňuje stejně jako u ABS hlavně mechanické vlastnosti. Styren v MBS zajišťuje pevnost, otěruvzdornost, obrobitelnost a tvárnost. Butadien ovlivňuje houževnatost, pevnost, tuhost a teplotní odolnost.



Obr. 23: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti MBS [5] [17]

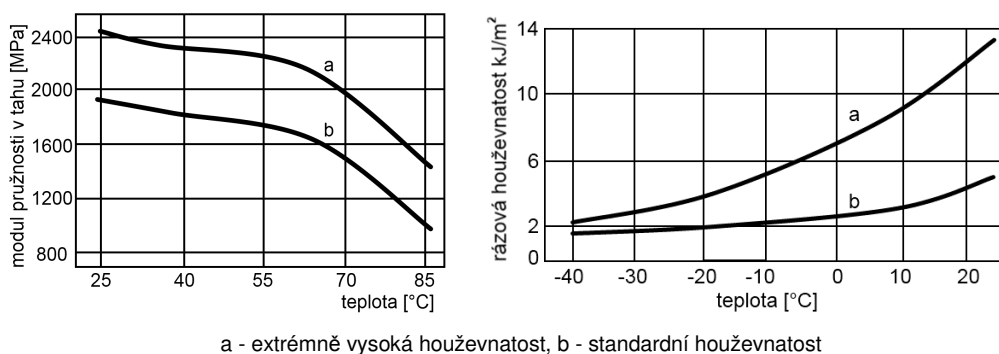
5.4 Mechanické vlastnosti

U MBS jsou mechanické vlastnosti ovlivněny obsahem jednotlivých složek. Nejvíce jsou ovlivněny styrenovou a butadienovou složkou. MBS má dobrou rázovou houževnatost, ke které navíc methylmethakrylatová složka dává průhlednost, což je vlastnost, která u ABS chybí.



Obr. 24: Pevnost v tahu terpolymeru MBS v závislosti na poměrném prodloužení [4]

S rostoucí teplotou klesá modul pružnosti v tahu (obr. 25) a pevnost stejně jako u jiných termoplastů. Proto je třeba i u MBS s tímto jevem při konstrukci počítat. Rázová houževnatost MBS (obr. 25) se stoupající teplotou roste a je příznivá i za nízkých teplot. Při srovnání rázové houževnatosti PMMA nebo PS získanou při 23 °C s houževnatostí MBS získanou při - 40 °C, má MBS i při takto nízké teplotě houževnatost stále lepší.



Obr. 25: Rázová houževnatost MBS (vpravo) a modul pružnosti MBS (vlevo) v závislosti teplotě [17]

5.5 Tepelné vlastnosti

MBS lze používat dlouhodobě při zvýšených teplotách v rozmezí 60 až 70 °C, aniž by hrozila výrazná změna mechanických vlastností. V teplotním rozmezí 70 až 80 °C lze MBS využívat jen krátkodobě tzn. v jednotkách až desítkách minut.

5.6 Chemické vlastnosti

MBS kromě koncentrované kyseliny chlorovodíkové a sírové odolává zředěným kyselinám, zásadám, solím, alifatickým uhlovodíkům, alkoholům, benzínům, olejům, tukům a mýdlům. Naopak neodolný je proti ketonům, esterům, etherům, aromatickým a chlorovaným uhlovodíkům, které MBS silně narušují, a proto ho v tomto prostředí není možné využít.

5.7 Optické vlastnosti

Průhlednost je závislá na teplotě, kdy je nejvyšší v rozmezí teplot 10 až 30 °C. Pokud je teplota mimo tento rozsah, dostává MBS mléčný nádech. Propustnost světla se pohybuje okolo 90 %.

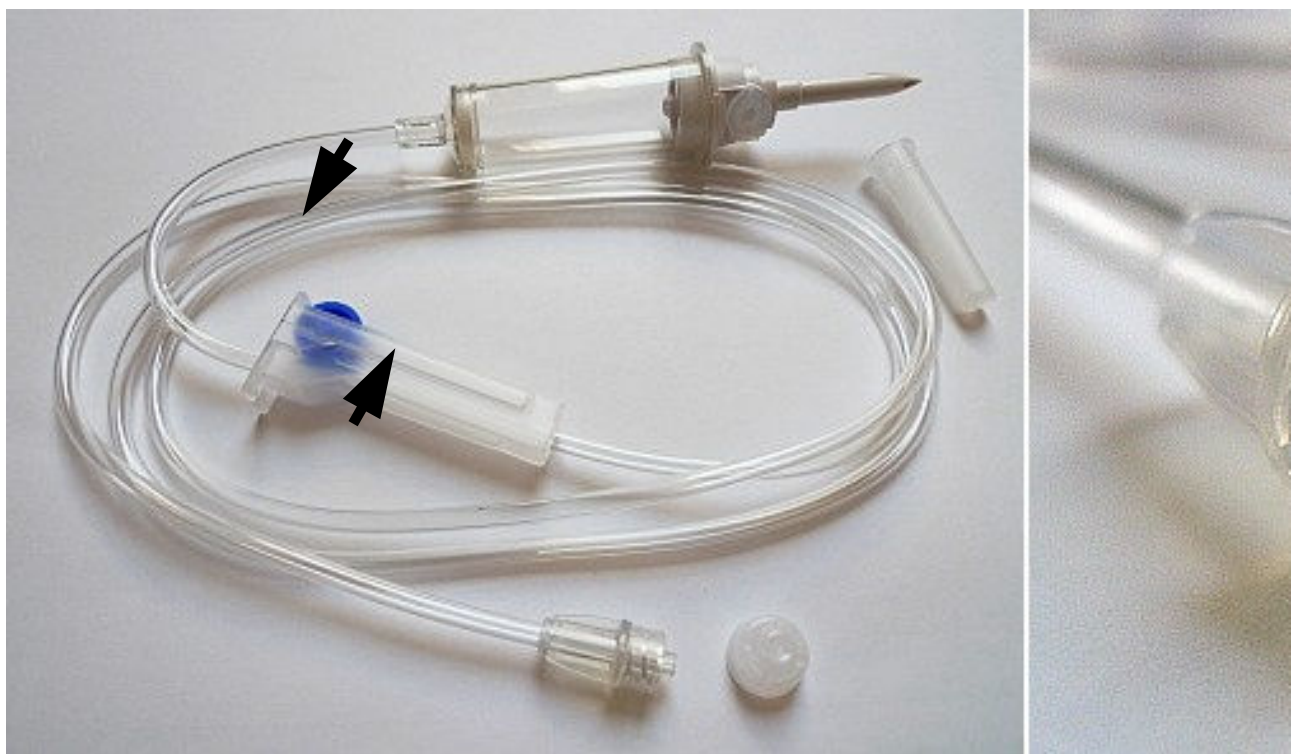
5.8 Vybrané obchodní názvy a výrobci

Claradex (Shin-A Corporation), CYROLITE® (Evonik Röhm GmbH), Denka Transparent Polymer (DENKA).

5.9 Použití MBS v praxi

Využití nalézá MBS v obalové technice, na krytech signálních světel a v některých aplikacích je použit jako náhrada za těžké sklo. Dále je možné MBS najít na psacích potřebách, hračkách a domácích přístrojích.

MBS s názvem CYROLITE® od firmy Evonik má široké použití ve zdravotnictví, protože je odolný vůči tělním tekutinám a mnoha chemickým látkám. Tento materiál je možné použít na části infuzních souprav (připojovací kužely luer lock, ovladače průtoku atd.). Na obr. 26 je infuze s vyznačenými díly, které je možné z MBS vyrobit. Dále se využívá na kryty dialýz, odlučovače krve a plazmy, ochranné kryty, inhalační náustky, příslušenství ke katéttru, ventilové soustavy, nádoby na krev a jiné vzorky, drenážní jednotky a další zdravotnické vybavení.

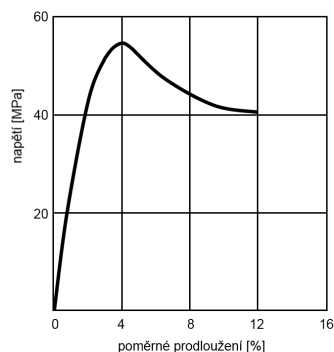


Obr. 26: Gravitační infuze s detailem na luer lock.

5.10 Shrnutí

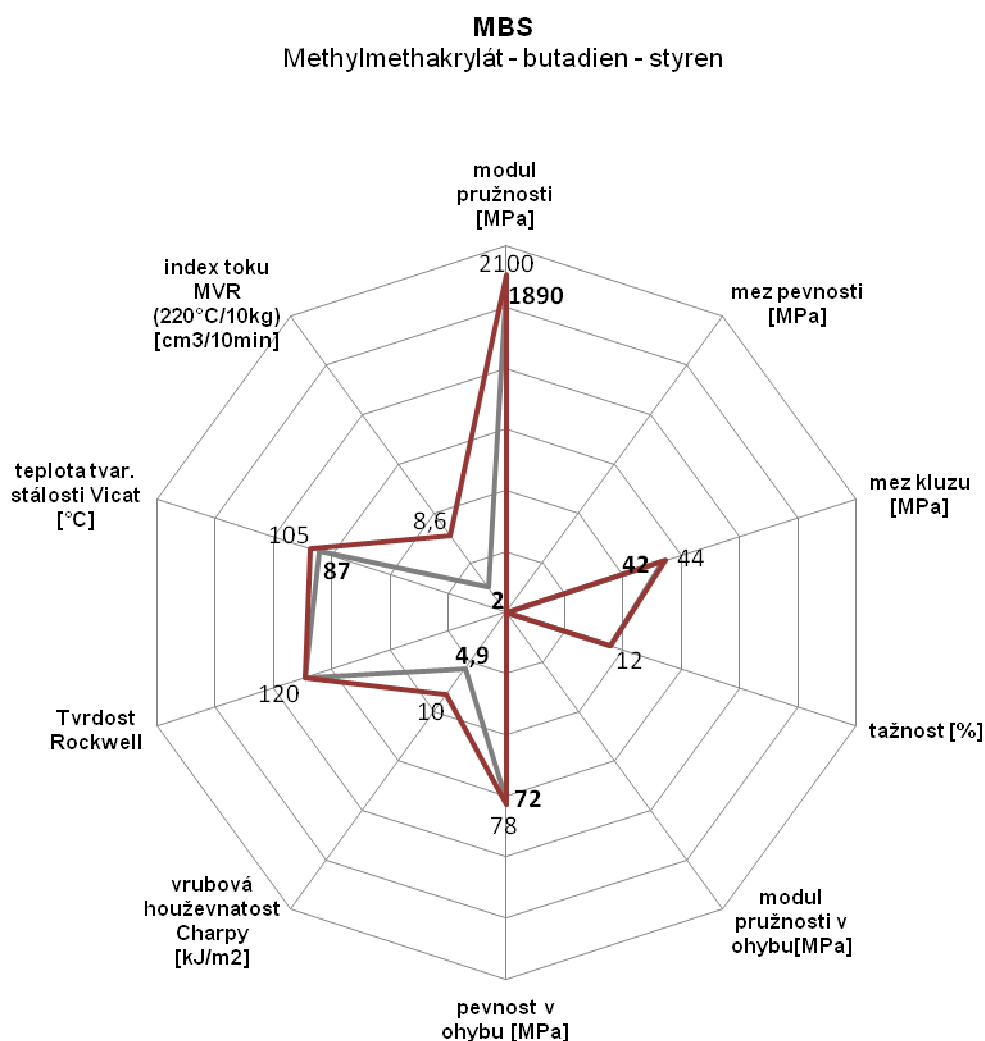
Tab. 4: Vlastnosti MBS [4]

MBS (METHYLMETHAKRYLÁT – BUTADIEN – STYREN)			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,08 – 1,10 g/cm ³
modul pružnosti	1890 – 2100 MPa	smrštění	-
mez pevnosti	-	navlhavost	-
mez kluzu	42 – 44 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	3 – 3,3 %	MFR (220 °C/10kg)	-
tažnost	12 %	MVR (220 °C/10kg)	2 – 8,6 cm ³ /10min
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní
modul pružnosti v ohybu	-	Vůroha:	polymerace
pevnost v ohybu	72 – 78 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	4,9 – 10 (-) kJ/m ²		
Charpy rázová	-		
Izod vrubová	-		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	120		
Brinell	-		
Teploty:			
zeskelnění	-		
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	87 – 105 °C		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	78 – 90 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	-		
krátkodobá teplotní mez	70 – 80 °C		
dlouhodobá teplotní mez	60 – 70 °C		
Optické vlastnosti:			
index lomu	1,53		
světelná propustnost	89 – 90 %		
Charakteristika: průhledný, lesklý, houževnatý, tvrdý, odolný proti korozi, tekutost Chemické vlastnosti: odolný proti louhům, kyselinám, detergentům, olejům, tukům a pohonným hmotám. Neodolné proti ketonům, esterům, etherům, aromatickým i chlorovaným uhlovodíkům. Technologie: vstřikování, válcování, lepení, svařování			
Technologické parametry:			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	-	teplota sušení	-



čas sušení	-	čas sušení	-
teplota zpracování (tání)	220 – 245 °C	teplota zpracování (tání)	-
teplota formy	55 – 65,1 °C		
rychlost šneku	-		

Diagram (obr. 27) zobrazuje rozsah hodnot vybraných vlastností MBS, které je možné u tohoto materiálu dosáhnout. Další vlastnosti a jejich hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.



Obr. 27: Vybrané vlastnosti MBS. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

6. Akrylonitril – styren – akrylát, ASA

6.1 Základní charakteristika

ASA je pevný a tuhý terpolymer s vysokým leskem a dobrou chemickou odolností. Díky velké odolnosti proti stárnutí je vhodný pro venkovní aplikace.

Mezi výhody patří:

- odolnost proti UV záření a povětrnosti
- odolnost proti rázům
- houževnatost
- tepelná a chemická odolnost
- lze potiskovat

Nevýhody jsou:

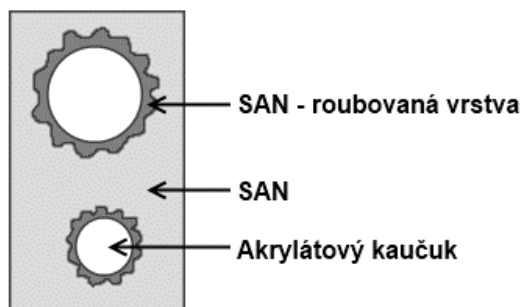
- toxické výpary při hoření
- cena (je dražší než ABS)
- nelze pokovovat
- nižší odolnost proti rázu při nízkých teplotách než u ABS

6.2 Historie

První materiál na bázi akrylonitrilu, styrenu a akrylátového kaučuku uvedla v 70. letech 20. století pod názvem Luran S firma BASF. Materiál umožnil i dlouhodobé využití v exteriérech, což je vlastnost, která je u ABS omezená.

6.3 Technologie výroby

ASA je v podstatě SAN modifikovaný akrylátovým kaučukem. [18] Architektura stavby tohoto materiálu je vidět na obr. 28. Je vyráběn roubováním styrenu s akrylonitrilem na kopolymer butylakrylát - akrylonitril.



Obr. 28: Stavba ASA [18]

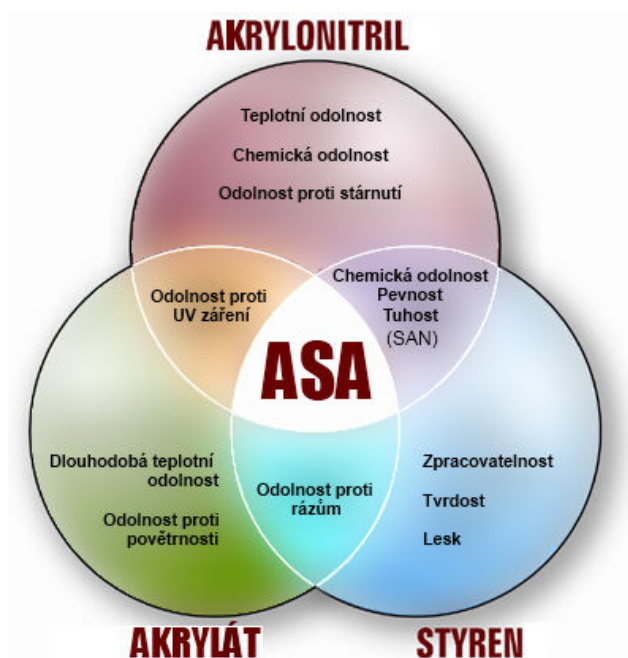
6.4 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti

Na obr. 29 jsou vidět vlastnosti, které výslednému ASA dávají jednotlivé složky.

Akrylát - akrylátový kaučuk výrazně zlepšuje odolnost proti stárnutí a žloutnutí. Dále má vliv na zlepšení teplotní stability.

Styrénová složka ovlivňuje pevnost, ořezuvzdornost, obrobitelnost, tvárnost a také má vliv na hladkost a lesklost povrchu.

Akrylonitril má vliv na teplotní i chemickou odolnost a zároveň zlepšuje odolnost proti stárnutí.



Obr. 29: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti ASA [5]

6.5 Mechanické a tepelné vlastnosti

Tvrdost plastů je možné měřit různými způsoby, protože neexistuje univerzální metoda. V praxi se pro zjišťování tvrdosti používá metoda podle Brinella, Rockwella nebo Shoreho. Brinellova zkouška je založena na vtlačování kuličky do materiálu a měří se hloubka vtlačení. U plastů se hloubka měří při zatížení a tím je zahrnuta elastická a plastická deformace. Tvrdost ASA měřená dle Brinella je HB 80 – 100. Shore je závislý na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech s nepřímou úměrou k hloubce vtlačení. Shore má dvě metody: A – kužel a D – komolý kužel.

Materiál ASA je možné namáhat teplotami 71 – 93 °C, ale pouze krátkodobě, protože materiál začíná ztrácet své mechanické vlastnosti. Minimální teplota, při které je možné ASA využít je - 20 °C.

6.6 Chemická odolnost

ASA nelze využít v prostředí s koncentrovanými kyselinami, aromatickými a chlorovanými uhlovodíky, estery, ethery a ketony.

6.7 Vybrané obchodní názvy a výrobci

Luran® S (BASF Corporation), BLENDX (Chemtura), ALCOM® ASA (Albis Plastic GmbH), ABEL ASA (Shanghai Hongjinyin Industry Co., Ltd.), Kern ASA (Kern GmbH), LG ASA (LG Chem Ltd.)

6.8 Použití ASA v praxi

Exteriérové díly na kabině řidiče Multicar FUMO. Kabina je tvořena ocelovým rámem, na který se lepí jednotlivé panely z materiálu Luran S (ASA) od firmy BASF. Díly jsou vyráběné vakuovým tvářením. Tímto konstrukčním řešením se kabina odlehčila o 30kg oproti řešení s použitím plechu. Na obr. 30 jsou šipkami vyznačené díly vyrobené z ASA: střecha, B sloupek, přední panel a zadní stěna.



Obr. 30: Multicar FUMO s vyznačenými díly z ASA (Luran S) [19]

Maska chladiče VW Golf R32 (obr. 31) kde je použit materiál ASA s označením Luran S 788T (firma BASF). Tento materiál má oproti směsím ABS s PC, které se na tyto díly také používají, vynikající vzhled i bez lakování. Materiál Luran S 788T je použit i na masce VW Passat.



Obr. 31: Maska pro VW Golf R32 vyrobená z Luran S 788T [20]

Rozvodné skříně (obr. 32), na kterých je nutné zajistit odolnost vůči povětrnostním vlivům a také odolnost proti mechanickému poškození jako promáčknutí nebo poškrábání.

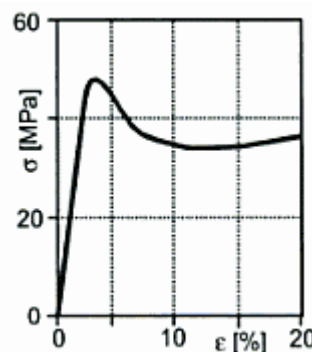
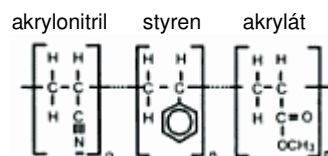


Obr. 32: Rozvodné skříně firmy F-tronic vyrobené z ASA (Luran S) [21]

6.9 Shrnutí

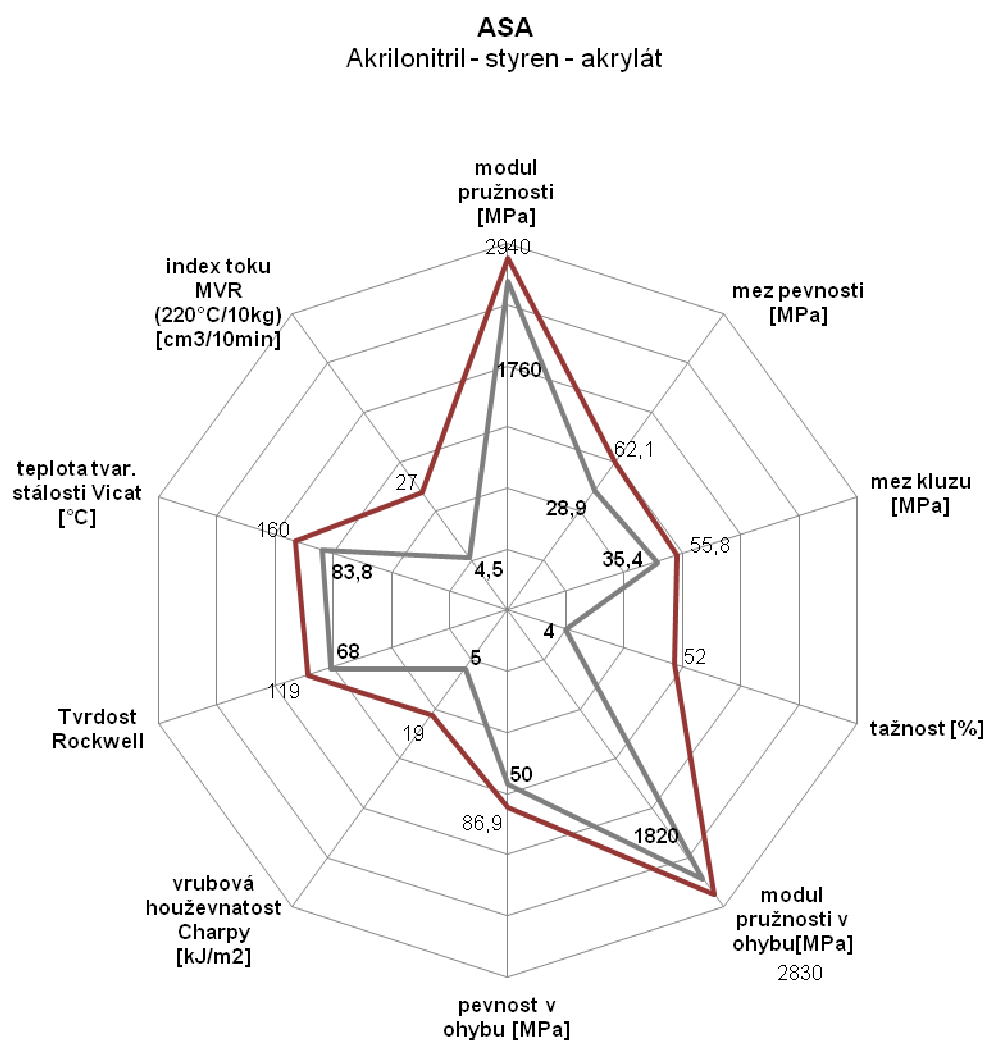
Tab. 5: Tabulka vlastností ASA [6]

ASA (AKRYLONITRIL – STYREN – AKRYLÁT)			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,04 – 1,13 g/cm ³
modul pružnosti	1760 – 2940 MPa	smrštění	0,49 – 0,56 %
mez pevnosti	28,9 – 62,1 MPa	navlhavost	0,30 – 0,45 %
mez kluzu	35,4 – 55,8 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	2,6 – 4%	MFR (220 °C/10kg)	5,8 – 26 g/10min
tažnost	4 – 52%	MVR (220 °C/10kg)	4,5 – 27 cm ³ /10min
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní
modul pružnosti v ohybu	1820 – 2830 MPa	Výroba:	polymerace
pevnost v ohybu	50 – 86,9 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	5–19 (2,85) kJ/m ²		
Charpy rázová	99 – 250 kJ/m ²		
Izod vrubová	5 – 26 kJ/m ²		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	68 – 119		
Brinell	80 – 100		
Teploty:			
zeskelnění	100 °C		
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	83,8 – 106 °C		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	74,8 – 96,1 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	85 – 101 °C		
krátkodobá teplotní mez	85 – 95 °C		
dlouhodobá teplotní mez	75 – 85 °C		
Optické vlastnosti:			
index lomu	-		
světelná propustnost	-		
<p>Charakteristika: vysoký lesk, dobrá chemická odolnost, odolnost proti stárnutí, neprůhledné</p> <p>Chemické vlastnosti: neodolává koncentrovaným kyselinám, aromatickým a chlorovaným uhlovodíkům, esterům, etherům a ketonům</p> <p>Technologie: vstřikování, vyfukování, vytlačování, tvarování, lepení, svařování, potiskování</p> <p>Poznávací znaky: hoří jasným plamenem, tvoří se saze</p> <p>Technologické parametry:</p>			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	80 – 110 °C	teplota sušení	80 – 90,5 °C
čas sušení	2,9 – 4,1 hod	čas sušení	2,9 – 4,6 hod
teplota zpracování (tání)	239 – 262 °C	teplota zpracování (tání)	199 – 245 °C



teplota formy	55 – 72,9 °C
rychlost šneku	50 – 75 ot/min

V tab. 5 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých vlastností terpolymeru ASA. Na obr. 33 je opět diagram s rozsahem hodnot vybraných vlastností, které lze dosáhnout.



Obr. 33: Vybrané vlastnosti ASA. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

7. Akrylonitril – etylen – styren, AES

7.1 Základní charakteristika

Terpolymer složený z akrylonitrilu, etylenu a styrenu. AES lze používat samotný, ve směsích s PC nebo s PS + SAN. Mezi jeho přednosti patří dobrá odolnost proti povětrnosti a UV záření, odolnost proti rázům, vysoká tepelná odolnost a nízký součinitel tření. Tento materiál je antistatický.

7.2 Vybrané obchodní názvy a výrobci

BLENDEX (Chemtura), SAXATEC™ (SAX Polymers), Rotec® AES (ROMIRA GmbH)

7.3 Použití AES v praxi

AES je možné použít pro venkovní aplikace, jako jsou dveře, okna a exteriérové díly v automobilovém průmyslu. Dále se materiál využívá na výrobu sportovních potřeb a částí lodí. Tento materiál je možné využít i v interiérech.

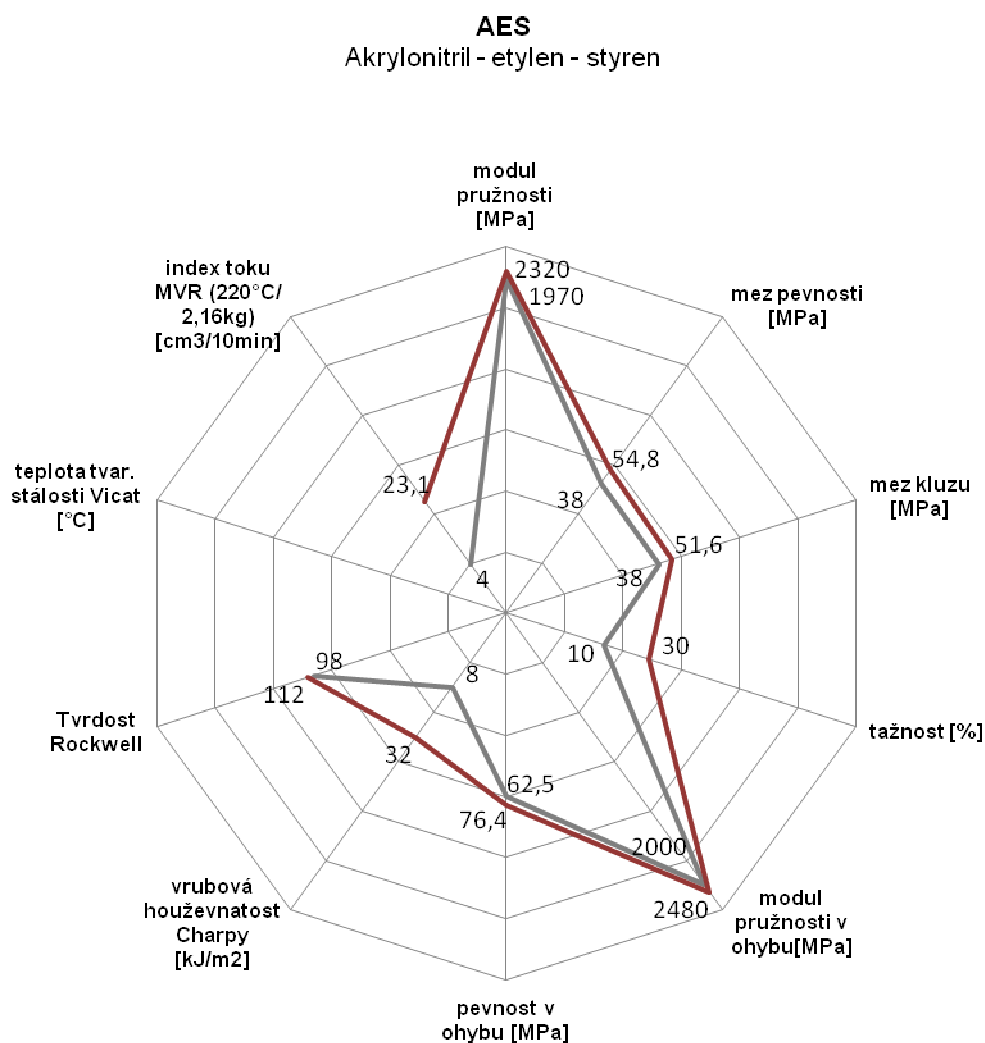
7.4 Shrnutí

Tab. 6: Tabulka vlastností AES

AES (AKRYLONITRIL – ETYLEN – STYREN)			
Mechanické vlastnosti:		Fyzikální vlastnosti:	
<u>tah</u>		hustota	1,04 – 1,06 g/cm ³
modul pružnosti	1970 – 2320 MPa	smrštění	0,5 – 0,8 %
mez pevnosti	38 – 54,8 MPa	navlhavost	-
mez kluzu	38 – 51,6 MPa	<u>index toku</u>	
deformace na mezi kluzu	-	MFR (220 °C/10kg)	-
tažnost	10 – 30 %	MVR (220 °C/2,16kg)	4 – 23,1 cm ³ /10min
<u>ohyb</u>		Struktura:	amorfní
modul pružnosti v ohybu	2000 – 2480 MPa	Výroba:	polymerace
pevnost v ohybu	62,5 – 76,4 MPa		
<u>houževnatost</u>			
Charpy vrubová 23 °C (-30 °C)	8 – 32 (-) kJ/m ²		
Charpy rázová	-		
Izod vrubová	59 – 154 J/m		
<u>tvrdost</u>			
Rockwell	98 – 112		
Brinell	-		
Teploty:			
zeskelnění	-		
tvar. stálost Vicat (ISO 306)	-		
tvar. stálost ISO75A (1,8MPa)	74,8 – 96,1 °C		
tvar. stálost ISO75B (0,45MPa)	-		
krátkodobá teplotní mez	-		
dlouhodobá teplotní mez	-		
Optické vlastnosti:			
index lomu	-		
světelná propustnost	-		
Charakteristika: tepelná odolnost, nízký součinitel tření, antistatický, odolnost proti povětrnosti, UV záření, rázům, neprůhledný Chemické vlastnosti: dobrá chemická odolnost Technologie: vstřikování, vytlačování Technologické parametry:			
<u>Vstřikování</u>		<u>Vytlačování</u>	
teplota sušení	80 – 90,5 °C	teplota sušení	-
čas sušení	2 – 3,5 hod	čas sušení	-
teplota zpracování (tání)	240 – 260 °C	teplota zpracování (tání)	-

teplota formy	55 – 60 °C
rychlost šneku	-

Diagram na obr. 34 zobrazuje rozsah hodnot vybraných vlastností AES. V tab. 6 je uveden širší přehled vlastností a jejich hodnot u tohoto materiálu.



Obr. 34: Vybrané vlastnosti AES. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).

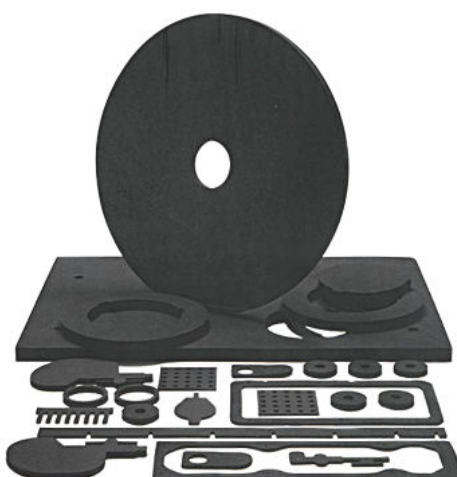
8. Stručný popis dalších terpolymerů

8.1 Etylen – propylen – dienový kaučuk, EPDM

EPDM je terpolymer etylenu a propylenu s malým množstvím třetího monomeru – dienu. Obecně mají etylenpropylenové pryže vynikající odolnost vůči ozónu, slunečnímu záření, povětrnostním vlivům. Dále mají velmi dobrou pružnost při nízké teplotě, dobrou chemickou odolnost (proti zředěným kyselinám a zásadám, polárním rozpouštědlům) a dobré elektroizolační vlastnosti. [22] Tento materiál se velmi dobře zpracovává a je možné ho získat v široké paletě barev.

Etylen má vliv na zpracovatelnost a mechanické vlastnosti. Jeho obsah se pohybuje v rozmezí 45 – 75 %. S rostoucím procentem etylenu v EPDM roste zpracovatelnost (při míchání, vytlačování) a materiál má lepší mechanické vlastnosti.

Dien má vliv na rychlost vulkanizace a jeho obsah se pohybuje v rozmezí 2,5 až 12 %.



Obr. 35: Výrobky z EPDM [23]

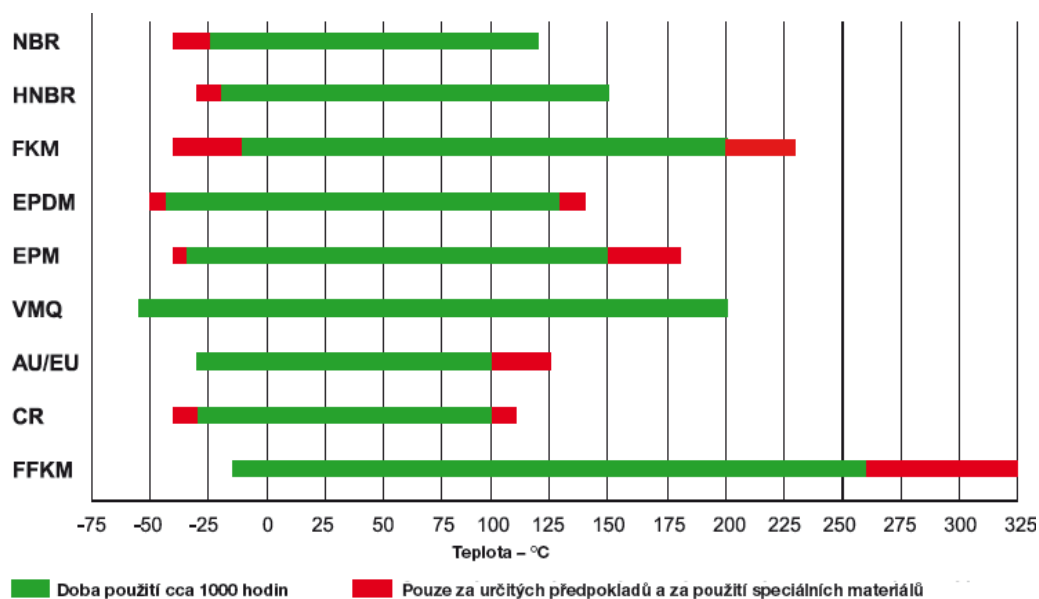
Vybrané obchodní názvy a výrobci: Dutral® TER (Polimeri Europa), Eptalloy™ (Mitsui Chemicals, Inc.), Keltan® (DSM Thermoplastic Elastomers), Vistalon™ (ExxonMobil Chemical), ROYALENE® (Lion Copolymer, LLC).

Díky velkému teplotnímu rozsahu použití (obvykle od - 40 do 140 °C), chemické a povětrnostní odolnosti má EPDM velmi široké využití a to hlavně ve venkovních aplikacích. Vyrábí se z něj těsnění v automobilech i domácnostech (okna, dveře), folie (zahradní jezírka, nádrže), střešní krytiny, hadice, izolace vodičů a podlahové krytiny. Některé příklady výrobků jsou vidět na obr. 35.

8.2 Perfluorový kaučuk (Perfluoroelastomer), FFKM (PFE)

Perfluorované elastomery (FFKM) jsou terpolymery složené z tetrafluoretylenu (TFE), perfluormetylvinyléteru (PMVE) a monomeru CSM (Cure Site Monomer). Tetrafluoretylen (TFE) je jako základní monomer zodpovědný za chemickou odolnost, zatímco se elastických vlastností dosahuje spojením s PMVE a perfluorovanými monomery (CSM) [24]

U tohoto materiálu se podařilo zkombinovat elasticitu s velkou chemickou a teplotní odolností - často se srovnává s PTFE. Chemická odolnost FFKM je velmi vysoká proti většině látek. Navíc je tento materiál odolný teplotám od -15 do 260 °C, ale speciální typy FFKM odolávají i teplotám od -25 do 325 °C. Na obr. 36 je porovnání FFKM s EPDM (materiál z předchozí kapitoly) a dalšími materiály. Je vidět, že FFKM má bezkonkurenčně největší teplotní rozsah použití.



Obr. 36: Rozsah teplot různých elastomerů (médium: vzduch) [25]

Tento materiál je velmi drahý, ale v některých aplikacích nelze nahradit. Často se kvůli úspoře používá jen jako krycí materiál a jádro výrobku je z levnějšího materiálu. Používá se k výrobě těsnění různých tvarů (obr. 37).



Obr. 37: O-kroužky z FFKM (vlevo) [26], průchodka pro optický kabel (vpravo) [27]

Vybrané obchodní názvy a výrobci: Perlast® (Precision Polymer Engineering Ltd.), Hyflon® (Solvay Solexis, Inc.).

Závěr

Každý materiál má své výhody, nevýhody nebo omezení. Nejvhodnější materiál je nutné určit podle konkrétních požadavků na výrobek. Velmi důležitým faktorem je také cena. Při hledání materiálu, ze kterého bude výrobek zhotoven, je důležité najít kompromis mezi kvalitou a cenou, kvůli snižování nákladů.

Tato práce byla zpracována tak, aby bylo možné uvedené terpolymery porovnat podle vlastností uvedených v tabulkách a diagramech u každého materiálu. Pro orientaci jsou v tabulkách a diagramech jednotlivé položky umístěny na stejných pozicích. U materiálů EPDM a FFKM tyto tabulky a diagramy nebylo možné vytvořit, protože výrobci neuvádí potřebné hodnoty. Dále jsou v této práci použity obchodní názvy materiálů určených pro evropský trh a uvedené hodnoty vlastností byly získány zkouškami dle norem ISO. Plasty a tedy i terpolymery se velmi rychle vyvíjí a výrobci se snaží o stálé vylepšování vlastností. Je proto nutné, brát konkrétní uvedené hodnoty jako informativní. Velmi dobrou pomůckou pro zjištění aktuálních dat o materiálech jsou online databáze. Pro zpracování této bakalářské práce byla použita databáze IDES, která je specializovaná na plasty.

Většina uvedených firem nabízí svůj materiál v několika typech. Od materiálů pro obecné použití, až po materiály pro speciální aplikace jako je zdravotnictví, letectví nebo kosmonautika, kde jsou kladeny nejvyšší nároky na kvalitu.

Z uvedených terpolymerů zpracovaných v této práci má nejvyšší pevnost ASA s hodnotou 62,1 MPa. Tvrdostí dle Rockwella je na tom nejlépe MBS s hodnotou 120. Pokud vezmeme v úvahu i směsi ABS, má ještě větší tvrdost dle Rockwella ABS + PC s hodnotou 122. Směs ABS + PA má nejlepší vrubovou houževnatost dle Charpyho a to 85 kJ/m². Pokud hodnoty směsí porovnáme s hodnotami samotného ABS (vrubová houževnatost 30 kJ/m², tvrdost Rockwell 115) je patrné, že dochází k významnému zlepšení. Proto jsou směsi, jinak také blendy, tolik používané. Jak již bylo v práci zmíněno, jednotlivé materiály si ve směsi zachovávají své vlastnosti a to je velmi výhodné. Pokud nebudeme brát v úvahu směsi ABS, ale srovnáme jen čisté terpolymery, je vrubová houževnatost nejvyšší u terpolymeru AES a to 32 kJ/m². S přehledem největší teplotní odolnost má terpolymer FFKM schopný snášet i teploty okolo 325 °C.

Terpolymery mají velký potenciál pro využití i v budoucnu. Nabízí velmi dobré vlastnosti, které lze modifikovat podle různých požadavků. Velká budoucnost je i v multipolymerech, které možná časem terpolymery nahradí, ale zatím je problém jejich vysoká cena. Vysoká cena brání většímu rozšíření i některých terpolymerů jako např. FFKM.

Problém s použitím plastů je jejich recyklace, kterou je nutné do budoucna intenzivně řešit. Výrobci se již dnes snaží o výrobky, které je možné z větší části recyklovat. Například Renault má vlastní interní normu eco2, která mimo jiné předepisuje i recyklovatelnost z 95% a nejméně 5% plastů musí pocházet z recyklovaných zdrojů.

Do budoucna lze tedy počítat s tím, že plasty budou dále hojně využívány a budou se dále rozvíjet. Dá se také očekávat vyšší využití recyklovaného materiálu a to nejen kvůli ekologii, ale také kvůli snižujícím se zásobám ropy.

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma technologie roubování [4]	15
Obr. 2: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti ABS [5]	16
Obr. 3: Vliv velikosti částic butadienu na průběh křivky napětí a deformace ABS [6]	17
Obr. 4: Krejzy vzniklé tahovým zatížením ABS [6] [8]	19
Obr. 5: Krípkové křivky ABS při různém osovém zatížení (23 °C) [4]	19
Obr. 6: Křivky napětí a deformace při namáhání v tahu terpolymeru ABS při různých teplotách. [4]	20
Obr. 7: Závislost modulu pružnosti v tahu a teploty terpolymeru ABS. [4]	21
Obr. 8: Průběh dlouhodobé statické pevnosti ABS v závislosti na teplotě a čase [4]	21
Obr. 9: Stavebnice LEGO. Díl vystavený UV záření (nahore), díl nevystavený UV záření (dole).	23
Obr. 10. Horní kryt počítačové myši Genius Ergo 525 vyrobený vstřikováním	25
Obr. 11: Vybrané vlastnosti ABS. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	27
Obr. 12: Vrubová a vnikací zkouška u ABS + PA (Terblend® N), ABS a ABS + PC [11]	29
Obr. 13: Tepelná odolnost ABS + PA a ABS + PC [11]	29
Obr. 14. Hustota Terblend® N (ABS+PA), ABS a ABS+PC [11]	30
Obr. 15: Triumph Daytrona 675 s kapotáží z ABS + PA [12]	31
Obr. 16. Interiér Fiatu Stilo s vyznačenými díly ze směsi ABS + PA [13]	31
Obr. 17: Vybrané vlastnosti ABS + PA. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	33
Obr. 18: Soubor vlastností, které vykazuje ABS + PC. [14]	34
Obr. 19: Interiér VW Beetle s detailem na horní lištu dveří	35
Obr. 20: Zadní kryt mobilního telefonu Nokia 6500 Classic	35
Obr. 21: Vybrané vlastnosti ABS + PC. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	37
Obr. 22: Rozdíl průchodu světla v ABS a MBS [18]	39
Obr. 23: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti MBS [5] [17]	39
Obr. 24: Pevnost v tahu terpolymeru MBS v závislosti na poměrném prodloužení [4]	40
Obr. 25: Rázová houževnatost MBS (vpravo) a modul pružnosti MBS (vlevo) v závislosti teplotě [17]	41
Obr. 26: Gravitační infuze s detailem na luer lock.	42
Obr. 27: Vybrané vlastnosti MBS. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	45
Obr. 28: Stavba ASA [18]	47
Obr. 29: Vliv jednotlivých složek na vlastnosti ASA [5]	48
Obr. 30: Multicar FUMO s vyznačenými díly z ASA (Lusan S) [19]	49
Obr. 31: Masky pro VW Golf R32 vyrobené z Luran S 788T [20]	50
Obr. 32: Rozvodné skříně firmy F-tronic vyrobené z ASA (Luran S) [21]	50
Obr. 33: Vybrané vlastnosti ASA. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	53

Obr. 34: Vybrané vlastnosti AES. Maximální hodnota (červená), minimální (šedá).	56
Obr. 35: Výrobky z EPDM [23]	57
Obr. 36: Rozsah teplot různých elastomerů (médium: vzduch) [25]	59
Obr. 37: O-kroužky z FFKM (vlevo) [26], průchodka pro optický kabel (vpravo) [27]	59

Seznam tabulek

Tab. 1: Vlastnosti ABS [6] [9]	26
Tab. 2: Vlastnosti ABS + PA	32
Tab. 3: Vlastnosti ABS + PC [6]	36
Tab. 4: Vlastnosti MBS [4]	43
Tab. 5: Tabulka vlastností ASA [6]	51
Tab. 6: Tabulka vlastností AES	55

Seznam literatury

- [1] MM Průmyslové spektrum. *Výroba plastů ve světě roste*. [Online] [Citace: 4. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-plastu-ve-svete-roste>>.
- [2] Technik. *Začalo století plastů*. [Online] [Citace: 4. 3. 2010.] Dostupné z URL <http://technik.ihned.cz/c4-10015300-11352820-800000_d-zacalo-stoleti-plastu>.
- [3] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [4] STARÝ, Miroslav, a další. *Terpolymery ABS, zpracování a použití*. Praha : STNL, 1977.
- [5] Kindratech Pipes Sdn Bhd. *KINDRATECH® ABS Pressure Pipes in accordance to the MS 1419: Part 1: 1997*. [Online] [Citace: 11. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://kindratech.kindraco.com/home/products/abs-pipes/>>.
- [6] EHRENSTEIN, G. W. a THERIAULT, Richard P. *Polymeric materials: structure, properties, application*. Hanser Verlag, 2001. Dostupné z URL <http://books.google.cz/books?id=_ad2mQ-b5cUC&printsec=frontcover&source=gbs_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false>. ISBN 1569903107, 9781569903100
- [7] Integrovaný registr znečišťování životního prostředí. *Látka: Styren*. [Online] [Citace: 18. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.irz.cz/obsah/latky/styren>>.
- [8] BARTUNĚK, Jiří. *ABS*. [Online] 2008. [Citace: 14. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/VIP.zip>>.
- [9] GREENE, Joseph. *Engineering Thermoplastics, PS, PC, ABS Chemical Structure*. [Online] 1999. [Citace: 14. 3. 2010.] Dostupné z URL <http://www.csuchico.edu/~jpgreene/itec041/m41_ch07/sld032.htm>.
- [10] BASF Corporation Plastics Portal. *Terblend® N ABS+PA Blend*. [Online] [Citace: 19. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.plasticsportal.com/products/terblend.html>>.
- [11] BASF Corporation Plastics Portal. *Properties of Terblend® N (ABS/PA blend)*. [Online] [Citace: 19. 3. 2010.] Dostupné z URL <http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/common/content/products/styrenics/terblend_n/properties>.

- [12] webBikeWorld. *Motorcycle fairings for Triumph*. [Online] [Citace: 7. 4. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.webbikeworld.com/triumph-motorcycles/triumph-675/>>.
- [13] Grupo Itavema. *Novo Stilo*. [Online] [Citace: 7. 4. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.carrosemotos0km.com.br/novo-stilo>>.
- [14] Omnexus. *PC-ABS blends in Automotive - Bayblend®*. [Online] [Citace: 20. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.omnexus.com/tc/bayblend/index.aspx?id=automotive>>.
- [15] SF Plastics. *Regrind products*. [Online] [Citace: 19. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://sfplasticsregrind.com/Products.php>>.
- [16] Omnexus. *Aesthetics with PC-ABS blends - Bayblend®*. [Online] [Citace: 20. 3. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.omnexus.com/tc/bayblend/index.aspx?id=automotive>>.
- [17] *Termotpasty v praxi*. [softwarová příručka] verze 1.5. Verlag Dashöfer. Dostupné z URL <<http://www.dashofer.cz>>.
- [18] SCHEIRS, John a PRIDDY, Duane. *Modern styrenic polymers: polystyrenes and styrenic copolymers*. Chichester : Wiley, 2003. Dostupné z URL <http://books.google.cz/books?id=FRGoFxFkKs4C&printsec=frontcover&source=gb_s_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false>. ISBN 0-471-49752-5.
- [19] Multicar ČR. [Online] [Citace: 4. 6. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.multicarcr.cz/data/script.php?m2=m2&id=1&title=FUMO>>.
- [20] BASF Corporation Plastics Portal. *Luran S (ASA) - Radiator grill - Application example*. [Online] [Citace: 4. 6. 2010.] Dostupné z URL <http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/luran_s/luran_s_radiator_grill_golf_r32_en.pdf>.
- [21] F-tronic. *Flush-mounted distributor Classic*. [Online] [Citace: 29. 4. 2010.] Dostupné z URL <http://www.f-tronic.de/produkte_unterputzverteiler.php?cid=20&pid=3&id=46&lang=en>.
- [22] GMORS. *GMORS Material EPDM*. [Online] [Citace: 22. 4. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.gmors.com/pviewitem1.asp?sn=627&area=48&cat=177>>.
- [23] Alibaba.com. *EPDM Open-Cell Foam*. [Online] [Citace: 29. 4. 2010.] Dostupné z URL <http://czsanhe.en.alibaba.com/product/202172038-50202978/EPDM_Open_Cell_Foam.html>.
- [24] C. Otto Gehrckens GmbH & Co. KG Dichtungstechnik. *Perfluorelastomer (FFKM/FFPM)*. [Online] [Citace: 22. 4. 2010.] <<http://www.cog.de/index.php?id=26&L=4>>.

- [25] WEGER, Matthias. C. Otto Gehrckens GmbH & Co. KG Dichtungstechnik. *O-kroužky*. [Online] Dostupné z URL <http://www.cog.de/fileadmin/downloads/ORing_tschechisch.pdf>.
- [26] GlobalSpec. *Simrit-Division of Freudenberg-NOK - Simriz Perfluoroelastomers (FFKM)*. [Online] [Citace: 4. 29. 2010.] Dostupné z URL <http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/SimritDivisionofFreudenbergNOK/Simriz_Perfluoroelastomers_FFKM/25874/0>.
- [27] DP Seals. *FFKM explained: the science bit*. [Online] [Citace: 29. 4. 2010.] Dostupné z URL <<http://www.dp-seals.co.uk/ffkm2.html>>.
- [28] HRIVŇÁK, Ivan. *Úžitkové vlastnosti a volba materiálu*. Bratislava : STU, 1999. ISBN 80-227-1162-4.
- [29] MEISSNER, Bohumil a ZILVAR, Václav. Fyzika polymerů. *Kapitola 9 Pevnost a porušování polymerů*. [Online] 2005. Dostupné z URL <<http://www.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/Fyzika%20polymeru.htm>>.
- [30] Chemistry Daily. *Acrylonitrile butadiene styrene*. [Online] Dostupné z URL <http://www.chemistrydaily.com/chemistry/Acrylonitrile_butadiene_styrene>.
- [31] Zhonglei New Material Science Co., Ltd. *Achille*. [Online] Dostupné z URL <<http://www.zhongleiscience.com/en/apply.asp>>.
- [32] RedEye. *Material - PC/ABS (Polycarbonate/ABS blend)*. [Online] Dostupné z URL <<http://au.redeyeondemand.com/PC-ABS.aspx>>.
- [33] Chemistry Daily. *Acrylonitrile*. [Online] Dostupné z URL <<http://www.chemistrydaily.com/chemistry/Acrylonitrile>>.
- [34] IDES The Plastic Web. [Online] Dostupné z URL <<http://www.ides.com/>>.
- [35] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. Dostupné z URL <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obalka-1.html>. ISBN 80-7080-617-6.
- [36] MEDUNA, František. *Plasty pro strojírenství*. [Online] Dostupné z URL <www.fp.tul.cz/kch/texty/fs/pomucky/Plasty_pro_strojare.doc>.
- [37] KVS. *Rapid prototyping*. [Online] Dostupné z URL <<http://www.kvs.tul.cz/cz/aktivita/prodigy.htm>>.
- [38] Evektor - Design & Engineering. *Rapid prototyping*. [Online] Dostupné z URL <<http://www.evektor.cz/vyvoj-a-konstrukce/rapid-prototyping.asp>>.

- [39] Azelis plastic. *Product centre*. [Online] Dostupné z URL
<http://www.azelisplastics.co.uk/product_search_results.php?products_id=&supplier_id=&what_action=SEARCH&search_me=1&all_offers_ids=%3A36%3A39%3A38%3A37>.
- [40] Evonik Cyro LLC. *Polymers for medical applications*. [Online] Dostupné z URL
<<http://www.acrylite-polymers.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/ACRYLITE-Polymers/Brochures/3578MedicalPolymersbrochure.pdf>>.
- [41] BASF Corporation Plastics Portal. *Luran S (ASA) - Exterior panels of commercial vehicle, Application example*. [Online] Dostupné z URL
<http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/luran_s/luran_s_exterior_panels_commercial_vehicle.pdf>.
- [42] BASF Corporation Plastics Portal. *Motorcycle fairings for Triumph*. [Online] Dostupné z URL
<http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/terblend_n/Terblend_N_triumph_motorcycle_fairing.pdf>.
- [43] BASF Corporation Plastics Portal. *Fiat Stilo interior equipment*. [Online] Dostupné z URL
<http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/terblend_n/Terblend_N_automotive_interior.pdf>.
- [44] Design inSite. *ABS - acrylonitrile butadiene styrene*. [Online] Dostupné z URL
<<http://designinsite.dk/htmsider/m0007.htm>>.
- [45] Automotorevue.cz. *Renault Clio - Druhá fáze*. [Online] Dostupné z URL
<<http://www.automotorevue.cz/auto/predstavujeme/renault-clio-druha-faze.html>>.
- [46] Exxonmobil chemical. *Vistalon™ ethylene propylene diene (EPDM) rubber*. [Online] Dostupné z URL <<http://www.exxonmobilchemical.com/Chem-English/brands/vistalon-ethylene-propylene-diene-epdm-rubber.aspx?ln=productsservices>>.
- [47] Wikipedia. *EPDM rubber*. [Online] Dostupné z URL
<http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM_rubber>.
- [48] C. Otto Gehrckens GmbH & Co. KG Dichtungstechnik. *Etylén-propylen-dienový kaučuk (EPDM)*. [Online] Dostupné z URL
<<http://www.cog.de/cz/oringeprodukte/werkstoffe/epdmkautschuk.html>>.
- [49] KENT, Robin. Periodic Table of Polymers. *Periodic Table of Polymers*. [Online] 7. 21 2009. Dostupné z URL <[http://www.pcn.org/TI-Polymer-Periodic%20Table%20\(Febbruary%202008\).pdf](http://www.pcn.org/TI-Polymer-Periodic%20Table%20(Febbruary%202008).pdf)>.

[50] MRTÍK, Miroslav. *BP Nanokompozity na bázi termoplastických*. [Online] 2007. Dostupné z URL

<https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=5515>.

[51] Inno Mould. *FFPM / FFKM O-Rings, profile gaskets, moulded seals*. [Online] Dostupné z URL <http://www.innomould.be/template_page.asp?pag_id=32&lng_iso=EN>.

[52] DTH Dichtungstechnik. *FFKM Perfluorelastomer*. [Online] Dostupné z URL

<<http://www.dth-dichtungstechnik.de/index.php?sitepar=WER&language=ENG>>.

[53] ROSATO, Donald V., ROSATO, Marlene G. a ROSATO, Dominick V. *Concise encyclopedia of plastics*. Norwell : Kluwer Academic Publishers, 2000. Dostupné z URL

<http://books.google.cz/books?id=0g9QjxsbqmUC&printsec=frontcover&source=gbv_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. ISBN 0-7923-8496-2.

[54] HILADO, Carlos J. *Flammability handbook for plastics*. Lancaster : Technomic Publishing Company, Inc., 1998. Dostupné z URL

<<http://www.google.com/books?hl=cs&lr=&id=fKnNdVdjFOsC&oi=fnd&pg=PR11&dq=acrylonitrile-chlorinated+polyethylene+styrene&ots=lxGjOUj8-P&sig=cZIPPYAgk8n60FYwnDe8kOfEQ4#v=onepage&q=acrylonitrile-chlorinated%20polyethylene%20styrene&f=false>>. ISBN 1-56676-651-6.

[55] BASF Corporation Plastics Portal. *Small distributor box*. [Online] Dostupné z URL

<http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/luran_s/luran_s_small_distributor_box.pdf>.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

28. 5. 2010

Podpis

Petr Zikmund

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

28. 5. 2010

Signature

Petr Zikmund